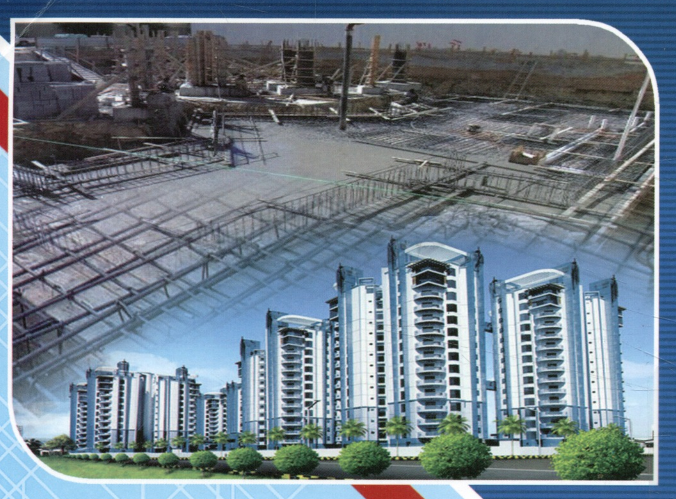
الإحساس الهندسي

في

تصميم الخرسانة المسلحة



مهندس استشارى

خليل ابراهيم واكد

دار الكتب العلمية

للنشر والتوزيع

القاهرة

الإحساس الهندسي

في

تصميم الخرسانة المسلحة

مهندس استشاري
خليل إبراهيم واكد

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

دار الكتب المصرية

فهرسة أثناء النشر إعداد إدارة الشئون الفنية

واكد ، خليل ابراهيم

الإحساس الهندسي في تصميم الخرسانة المسلحة / خليل ابراهيم واكد– . القاهرة : **دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع** ٢٠١٣م

٩٦ ص ، ١٧ X ٢٤سم

تدمك : ٩-٩٥-٥٠٢٩-٩٧٧-٩٧٨

١. التصميم الانشائي ٢. هندسة الانشاءات

٣. الخرسانة المسلحة أ. العنوان

ديوى ٦٢٤.١٧٧١ ٢٠١٣/٤٣٩٦

الطبعة الأولى

١٤٣٤هـ - ٢٠١٣م

رقم الايداع : ٢٠١٣/٤٣٩٦

تدمك : ٩-٩٥-٥٠٢٩-٩٧٧-٩٧٨

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ريحان – عابدين – القاهرة

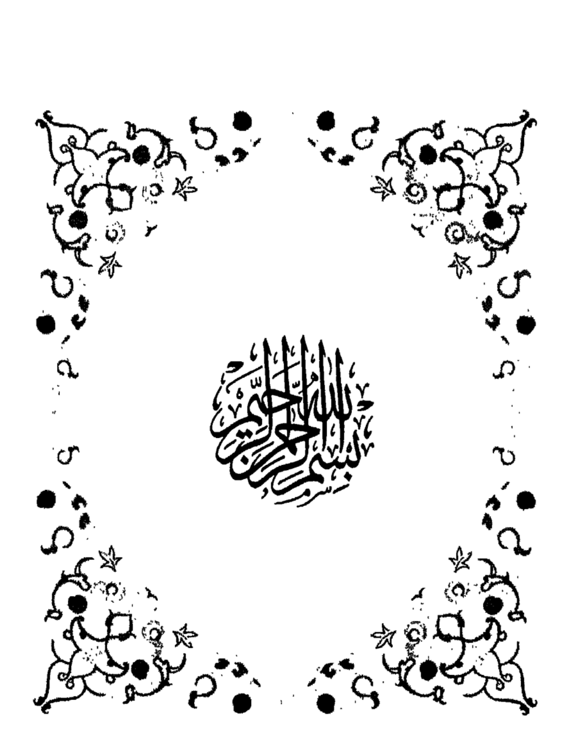
☎ ٢٧٩٤٨٦١٩- ٢٧٩٥٤٢٢٩

فاكس: ٢٧٩٢٨٩٨٠

لمزيد من المعلومات يرجي زيارة موقعنا على الإنترنت

www.sbhegypt.org

e-mail : sbh@link.net


بسم الله الرحمن الرحيم



مقدمة في

أهمية الإحساس الهندسي

1-1 مقدمة

يمثل فقدان الإحساس الهندسي في التصميم الإنشائي للمنشآت الخرسانية المسلحة أهم عائق نحو الحصول على نتائج سليمة من أول محاولة للمهندس المصمم في أثناء إجرائه العمليات الهندسية اللازمة لتصميم العناصر الإنشائية المختلفة للمنشأ الخرساني في المكاتب والشركات الهندسية المختلفة.

كما يشكل فقدان الإحساس الهندسي سببًا رئيسيًا للنزاع والتنازع القائم بين مهندسي التصميم الإنشائي وبقية المهندسين في الأفرع المختلفة للهندسة سواء المعماري أو الصحي أو التكييف أو الكهرباء في عمليات تصميم أي مشروع مبنى إداري أو سكني أو صناعي أو رياضي وخلافه.

كما يشكل فقدان الإحساس الهندسي واحدًا من أكبر عوامل تضييع الوقت والمجهود في المكاتب الهندسية.

كما يشكل فقدان الإحساس الهندسي واحدًا من أكبر عوامل زيادة تكلفة أي منشأ خرساني في مراحله الأولى، أي في مرحلة إعداد الرسومات الهندسية الإنشائية وهي أخطر مرحلة مؤثرة في عملية التكلفة الاقتصادية لجميع المباني بمختلف أنواعها سواء في مصر والعالم العربي أو العالم كله.

ويشكل عامل فقدان الإحساس الهندسي عند المهندس الإنشائي أو المعماري واحدًا من أهم أسباب فقدان وظيفة المهندس والاستغناء عنه من المكاتب أو الشركات الهندسية.

كما يشكل فقدان الإحساس الهندسي عند المهندس المعماري على وجه الخصوص سببًا لفشله المستمر في تحقيق فكرة المعماري من الناحية الواقعية عند زملائه من المهندسين الإنشائيين الذين يعانون من خياله الواسع معماريًا وغير الممكن تحقيقه من الناحية العملية سواء في الهندسة الإنشائية أو التكييف أو الصحي أو الكهرباء وخلافه سيظل فكر المهندس المعماري الفاقد للإحساس الهندسي الإنشائي حبيسًا في عقله وخياله الواسع ويظل طوال حياته لا يستطيع ترجمة طموحاته وإبداعاته المعمارية في أي مبنى من المباني المختلفة المسندة إليه طوال حياته الوظيفية سواء من الناحية الجمالية أو الناحية الوظيفية المعمارية.

ومما سبق بينا بعض عوامل أهمية تكون الإحساس الإنشائي عند كل من مهندس التصميم الإنشائي وكذلك مهندس التصميم المعماري في جميع مشروعات تصميم المباني والمنشآت الخرسانية المسلحة في مصر والعالم.

١-٢ القواعد الأساسية المتحكمة في الإحساس الهندسي في التصميم الإنشائي للخرسانة المسلحة

القاعدة الأولى*

الحد الأكبر والحد الأصغر (نظرية الحدين)

Upper Bound & Lower Bound

لكل عنصر إنشائي حد أقصى لأبعاده maximum size ولنفس العنصر الإنشائي حد أدنى لأبعاده minimum size في جميع الظروف المختلفة ولجميع المباني المختلفة.

يعني يوجد لعنصر الكمرات ومفرده كمرة، يوجد لكل كمرة مهما كانت الأحمال عليها حد أقصى لعمقها وعرضها وتلسيحها، كما يوجد حد أدنى لعمقها وعرض وتسليحها مهما كانت الأحمال عليها وإيما كان نوع المنشأ الموجودة فيه هذه الكمرة.

وكذلك يوجد لكل عمود، وهو عنصر إنشائي، حد أقصى لأبعاده وتسليحه مهما كانت الأحمال التي عليه ومهما كان نوع المنشأ الخرساني الموجود فيه هذا العمود كما يوجد حد أدنى لنفس العمود لأبعاده وتسليحه مهما كانت الظروف التي عليه.

---

* هذه النظرية من وضع المؤلف المهندس/ خليل إبراهيم واكد.

الاستنتاج

إذا اعتبرنا أن أي عنصر إنشائي بمثابة ترمومتر حراري زئبقي، وأن الحد الأقصى لأبعاده وتسليحه يمثل درجة الحرارة العظمى، والحد الأدنى لأبعاده وتسليحه يمثل درجة الحرارة الصغرى، فيمكننا اعتبار أن المصمم الإنشائي هو مادة الزئبق التي تتحرك ما بين الدرجتين العظمى والصغرى بما يتناسب مع حالة المريض، وهو في هذه الحالة المبنى الخرساني المطلوب تصميمه.

وقدرة وكفاءة المهندس الإنشائي المصمم في مدى قدرته على الاختيار الأمثل للأبعاد والتسليح المتناسبين مع نوعية المنشأ وتكلفته الاقتصادية وعناصر الجمال والاستخدامية في هذا المنشأ الخرساني.

القاعدة الثانية

عامل التصميم الحاكم

The Main Design Factor (The Governing Design Factor)

لكل عنصر من عناصر المنشأ الخرساني عامل حاكم عبارة عن قوة أساسية أو إجهاد أساسي يكون هو المتحكم في النتيجة النهائية لتصميم هذا القطاع من الناحية الإنشائية.

أي أن هذا العامل الحاكم هو الذي ينتج عنه أكبر عرض وأكبر عمق للقطاع الخرساني، وربما كذلك أكبر حديد تسليح لهذا القطاع الخرساني سواء حديد تسليح طولي أو ربما كانات وحديد عرضي إضافي.

عندما نقوم بتصميم أي عنصر من العناصر الإنشائية للمبنى الخرساني نأخذ في الاعتبار عدة قوى وإجهادات أساسية هي كالتالي:

١. عزوم الانحناء $B.M$.
٢. قوى القص Q.
٣. قوى عمودية محورية (شد T أو ضغط N).
٤. عزوم التواء M_t.
٥. إجهادات التماسك bond stress.
٦. إجهادات الاختراق (قوى الاختراق) punch stress.

والعناصر الإنشائية الأساسية في مبنى خرساني يمكن ذكرها فيما يلي:

١. الكمرات.
٢. البلاطات.

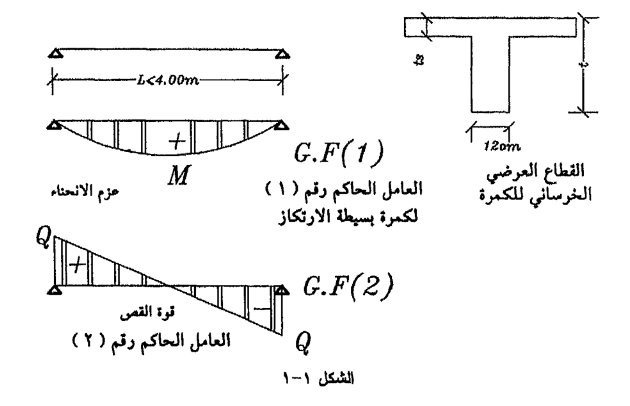
٣. الأعمدة. ٤. القواعد.

٥. الحوائط الخرسانية الساندة retaining wall.

٦. حوائط القص الخرسانية shear wall.

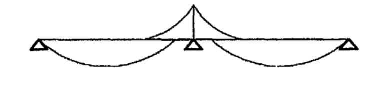
وبتطبيق هذه القاعدة على عنصر الكمرات الخرسانية R.C Beams، وجدنا الآتي:

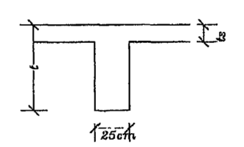
١. جميع الكمرات ذات العرض 12 cm، والبحور لا تزيد عن 4.00 m، يكون العامل الحاكم فيها هو عزوم الانحناء bending moment يليه عنصر قوى القص Q.



الشكل ١-١

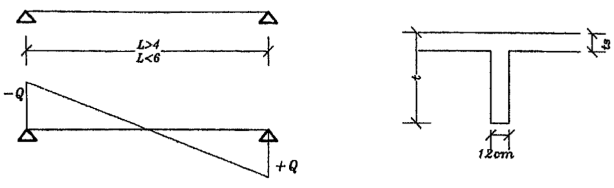
٢. جميع الكمرات ذات العرض 25 cm والبحور لا تزيد عن 7.00 m يكون العامل الحاكم فيها هو عزوم الانحناء bending moment.





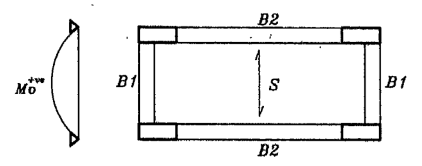
الشكل ١-٢: كمرة مستمرة

٣. جميع الكمرات ذات العرض 12 cm والبحور أكبر من 4.00 m وحتى 6 m يكون العامل الحاكم في التصميم هو قوى القص Q shearing force.



الشكل ١-٣: قوى القص في الكمرة البسيطة

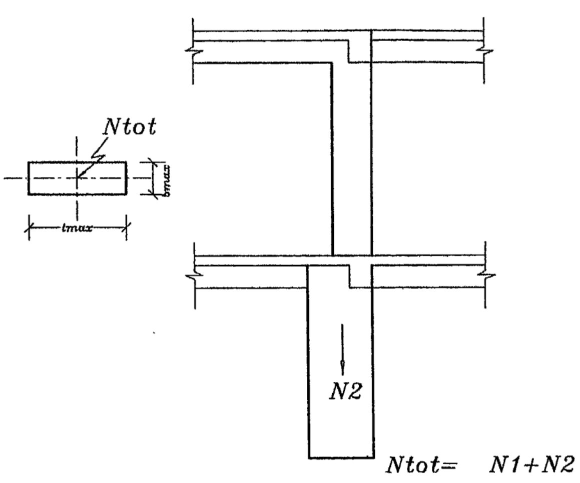
٤. جميع البلاطات المصمتة المحاطة بكمرات جسيئة مصبوبة معها في نفس الوقت سواء كانت بلاطات أحادية الاتجاه one way slab أو ثنائية الاتجاه two way slabs يكون العامل الحاكم فيها هو عزم الانحناء الأقصى في منتصف بحر البلاطة بسيطة الارتكاز أو أقصى عزم انحناء فوق الركائز للبلاطات المستمرة continuous beams.



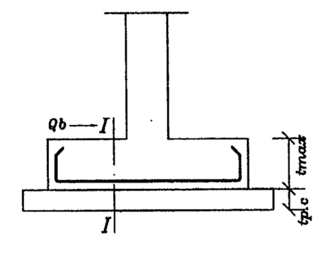
الشكل ١-٤: العامل الحاكم في بلاطة ذات اتجاه واحد S (عزم الانحناء)

٥. العامل الحاكم في الأعمدة الخرسانية المسلحة القصيرة في المباني السكنية والإدارية يكون هو القوة المحورية N للضغط على هذا العمود في قيمتها القصوى نتيجة تجميع الأحمال المحورية لكل دور مع بقية الأدوار الأخرى ويكون أكبر قطاع عند أكبر قوة ضغط محورية عند منسوب دور البدروم (أو الدور الأرضي عند عدم وجود دور بدروم).

٦. العامل الحاكم للقواعد الخرسانية المسلحة المنفصلة أن القاعدة الواحدة المنفصلة العامل الحاكم فيها هو فحص إجهادات التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح bond stresses وهو الذي يعطينا أكبر عمق (سمك) للقاعدة، والعامل الحاكم الثاني في القواعد المنفصلة هو إجهاد الاختراق punch stress، ويعطينا سمك كبير للقاعدة المنفصلة.



الشكل ١-٥: عمود يتحمل طابقين



الشكل ١-٦: العنصر الحاكم في قاعدة منفصلة من الخرسانة المسلحة

$$q_{bond} = \frac{Q_b}{0.87d \sum \odot}$$

حيث $\sum\odot$ = محيط الأسياخ في متر طولي من القاعدة في الاتجاه المطلوب تأمينه.

٧. أما في البلاطات المسطحة flat slab فعادة ما يكون العامل الحاكم في التصميم الإنشائي، والذي يعطينا أكبر سمك للبلاطة الخرسانية المسطحة يكون هو إجهاد الاختراق punch stress.



الإحساس الهندسي

في التحليل الإنشائي

٢-١ مقدمة

من المستحيل على المهندس الإنشائي أن يصمم منشآت خرسانية مسلحة اعتمادًا على تحليل المنشآت ببرامج SAP 2000 أو برنامج STABs أو غيرها والتي تعتمد أساسًا على التحليل الإنشائي من خلال نظرية المنشآت theory of structures التي تُدرس في الجامعات ويا ليتها تُدرس من خلال جميع اتجاهات هذه النظرية ولكن يتم تدريس هذه النظرية من خلال بعد واحد فقط هو بعد التحليل الإنشائي المرن، أي أن كليات الهندسة تدرس لطلابها نظرية المنشآت من خلال التحليل الإنشائي المرن أي أنها نظرية المنشآت بالتحليل المرن elastic theory of structures مع أن الخرسانة المسلحة لها بعد ثاني هام جدًا في التحليل الإنشائي وهي أن الخرسانة المسلحة مادة لدنة تخضع أيضًا إلى التحليل الإنشائي اللدن من خلال نظرية المنشآت اللدنة plastic theory of structures. وطبعًا فإن كليات الهندسة تدرس نظرية المنشآت المرنة لأنها أكثر آمانًا في نتائجها بالنسبة لكل من المنشآت الخرسانية المسلحة وكذلك المنشآت المعدنية (تعطي قطاعات كبيرة نسبيًا عن مثيلتها الناتجة من نظرية المنشآت اللدنة).

٢-٢ أسئلة وأجوبة هامة

س ٢-١: كيف يمكن التفريق بين السلوك المرن وغير المرن للمنشآت؟

الإجابـــة

المنشأ يكون مرنًا إذا قمنا بنزع الأحمال من على المنشأ وعاد هذا المنشأ بعد النزع إلى وضعه الأصلي قبل التشكيل الحادث عند تطبيق الأحمال عليه.

والمنشأ يكون غير مرنًا إذا قمنا بنـزع الأحمال من على المنشأ ولم تتم عودته إلى وضعه وشكله الأصلي قبل التشكل تحت تأثير الحمل ولكن احتفظ بعد نزع الحمل ببعض هذه التشكلات.

س ٢-٢: مطلوب التعريف لكل من السلوك الخطي والسلوك غير الخطي للمنشآت.

الإجابـة

إذا كانت العلاقة بين القوة والإزاحة للمنشأ خطية فإن سلوك المنشأ يقال أنه يكون خطيًا. والسلوك يسمى غير خطي إذا كانت العلاقة بين القوة والإزاحة غير خطية.

س ٢-٣: ما هو المقصود من مبدأ التجميع الكلي؟

الإجابـة

إن التجميع الكلي للإزاحات superposition هو أن الإزاحة عند قطاع نتيجة عدد من الأحمال تعمل في وقت واحد على منشأ مرن خطي يمكن أن نحصل عليها من طريق إضافة الإزاحات نتيجة كل حمل على حدة وجمع الإزاحات للأحمال المنفصلة.

أما التجميع الكلي للقوى، فإن القوة المتولدة عند قطاع نتيجة عدد من الإزاحات والتي تحدث في وقت واحد على منشأ مرن خطي يمكن الحصول عليها بإضافة القوة نتيجة كل إزاحة منفصلة يتعرض لها المنشأ.

س ٢-٤: كيف يمكن التفريق بين كل من المنشآت المتصلة إبريًا pin jointed والمنشآت متماسكة الاتصال rigidly jointed structures؟

الإجابـة

م	المنشأ المتصل إبريًا	المنشأ المتماسك في الاتصال
١	الوصلات تسمح بتغيير الزاوية بين العناصر المتصلة.	العناصر المتصلة عند وصلة متماسكة سوف تحتفظ بالزاوية بينهم حتى تحت التشكلات الحادثة نتيجة الأحمال.
٢	الوصلات لا تستطيع نقل أية عزم للعناصر المتصلة بها والعكس بالعكس.	العناصر تستطيع نقل كل من القوى والعزوم بين بعضها البعض خلال الوصلات.
٣	الوصلات الإبرية تنقل القوى بين العناصر المتصلة عن طريق القص المتولد بينهم.	سلوك الوصلات المتماسكة عادة يزيد من عدم المحدودية الاستاتيكية للمنشآت the redundancy.

س ٢-٥: ما هي الافتراضات التي نفترضها في تحليل الجمالونات ذات الوصلات الإبرية pin jointed trusses؟

الإجابة

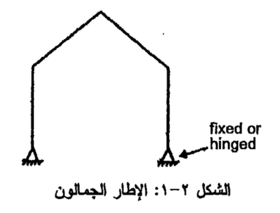
هذه الافتراضات هي كالآتي:

١. كل العناصر متصلة إبريًا.
٢. الأحمال الخارجية تنتقل إلى المنشآت فقط عند الوصلة at the joint.
٣. الإبر (الوصلة الإبرية) لا تنقل أية عزوم لأي من العناصر المتصلة بها.
٤. الإبر (الوصلة الإبرية) تسمح للعناصر المتصلة بها بتغيير الزوايا بين بعضهم البعض.

س ٢-٦: ما هو الإطار الجمالون (المثلثي)؟

الإجابة

الإطار الجمالون gable frame عادة يتكون من كمرتين رئيسيتين مائلتين على الأفقي لتحمل عليها السقف المائل. إن هذه الإطارات يمكن أن تكون إبرية الوصلات أو متماسكة الوصلات.



الشكل ٢-١: الإطار الجمالون

س ٢-٧: ما هي عدم الخطية الهندسية geometric non-linearity؟

الإجابة

عادة نحن نفترض أن التشكلات الحادثة في المنشآت نتيجة الأحمال تكون صغيرة جدًا. هذه التشكلات صغيرة بدرجة أنهم لا يغيروا الشكل الهندسي للمنشأ. ولكن عندما تكون التشكلات كبيرة فإنها تستطيع تغيير الشكل الهندسي للمنشأ.

وعند حدوث تشكلات واسعة نتيجة بعض التحميل فإننا يجب أن نتحقق من أية حمل إضافي يُعمل على هذا المنشأ المتغير. لذلك فإن الإزاحات سوف لا تكون متناسبة مع الأحمال.

إن علاقة الحمل مع التشكل تكون لذلك غير خطية. هذه اللاخطية تحدث نتيجة التغير في هندسية الشكل ولذلك تسمى "اللاخطية الهندسية".

س ٢-٨: ما معنى فقدان السلامة والملائمة في الجمالون؟

الإجابة

إن واحدًا أو أكثر من عناصر الإطار غير المحدد استاتيكيًا ذو الوصلات الإبرية يمكن أن يكون

أقصى قليلاً أو أطول قليلاً من المطلوب. هذه العناصر سوف تحتاج إلى دفعها في مكانها أثناء تشييد الإطار، وهذه العناصر تسمى "عناصر فقد الملائمة".

إن قوى داخلية يمكن أن تنشأ في هذا الإطار -بدون تأثير قوى خارجية- نتيجة نقص الملائمة ها.

س ٢-٩: إطار له وصلات إبرية، يمتلك ٤ وصلات. كم عدد العناصر التي سوف توجد في هذا الإطار إذا كان هذا الإطار له درجة واحدة من عدم التحديد الإنشائية one degree of indeterminacy؟

الإجابــة

درجات عدم التحديد: $I = 1$

عدد الوصلات: $j = 4$

عدد العناصر: $m = ?$

نحن نعرف المعادلة المشهورة الآتية:

$$I = m - (2j - 3)$$

$$1 = m - (2 \times 4 - 3)$$

$$1 = m - 5$$

$$1 + 5 = m$$

إذًا عدد العناصر: $m = 6$

س ٢-١٠: كيف نفرق بين الجمالون المستوى والإطار المستوى؟

الإجابــة

- الجمالون المستوى منشأ مزود بمفاصل يتكون من عناصر في مستوى واحد ذات وصلات إبرية في نهايتها وتتحمل قوى محورية فقط.
- أما الإطار المستوى فهو منشأ يتكون من عناصر في مستوى واحد متماسكة عند الوصلات في نهايتها وتتحمل عزوم انحناء وقوى قص وقوى محورية.

إن مصطلح إطار مستوى يستخدم في بعض الأحيان النادرة للتعبير عن الجمالون المستوى أيضًا.

س ٢-١١: ما هو المقصود بالإجهادات الحرارية؟

الإجابــة

الإجهادات الحرارية هي إجهادات تنشأ في منشأ أو عنصر نتيجة التغير في درجة الحرارة. وعادة فإن المنشآت المحدد استاتيكيًا لا ينشأ داخلها إجهادات حرارية فإن هذه المنشآت تستطيع امتصاص التغيرات في الأطوال وبالتالي الإزاحات الحادثة بدون حدوث إجهادات إضافية.

س ٢-١٢: اكتب الطريقتين المستخدمتين في تحديد الإزاحات في إطار مستوى ذو وصلات إبرية باستخدام مفهوم وحدة الأحمال.

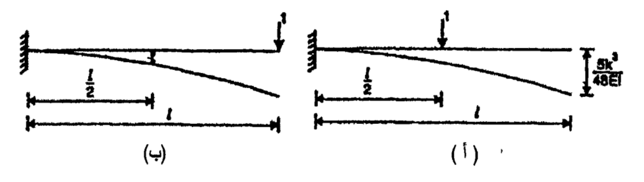
الإجابــة

الطرق التي تستخدم وحدة الأحمال لحساب الإزاحات هما:

١. طريقة وحدة الأحمال الظاهرية.

٢. استخدام مبدأ الشغل التخيلي the principle of virtual work.

س ٢-١٣: الترخيم الحادث عند الطرف الحي لكابولي نتيجة فعل وحدة الأحمال عند منتصف بحر الكابولي هو $5k^3/48EI$ وبالتالي المطلوب حساب الترخيم عند منتصف البحر نتيجة وحدة الأحمال عند الطرف الحي (انظر الشكل ٢-٢).



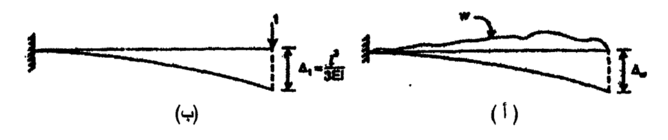
الشكل ٢-٢: شكل الترخيم الحادث عند الطرف الحي للكابولي

الإجابــة

الترخيم الحادث في منتصف البحر نتيجة وحدة الأحمال عند الطرف الحي هو $5k^3/48EI$، وذلك بتطبيق قانون ماكسويل للترخيم العكسي Maxwell's law of reciprocal deflection.

س ٢-١٤: رد فعل الدعامة لكمرة كابولية مدعمة هو R نتيجة حمل معين. اكتب المعادلة اللازمة لحل قيمة R.

الإجابــة



الشكل ٢-٣: أشكال الترخيم وقيم الإزاحات عند طرف الكابولي

افترض أن ΔW هو الترخيم عند النهاية الحرة للكابولي بعد نزع الدعامة نتيجة حمل موزع W.

افترض أن $\Delta 1$ هو الترخيم نتيجة وحدة الأحمال، فإن:

$$R\,\frac{\Delta W}{\Delta 1} = 3EI\,\frac{\Delta W}{L^3}$$

س ٢-١٥: اذكر الطرق التقريبية لتحليل الإطارات ذات الطوابق المتعددة.

الإجابــة

الطرق التقريبية لتحليل الإطارات ذات الطوابق المتعددة هي:

١. تحت تأثير الأحمال الأفقية:

أ) الطريق البابية portal method. ب) الطريقة الكابولية.

٢. تحت تأثير الأحمال الرئيسية:

أ) طريقة نقاط الانقلاب point of inflection method.

ب) طريقة الإطار التعويضي substitute frame method..

س ٢-١٦: ما هي القوى الداخلية التي يتم تصميم عنصر كمرة من منشأ هيكلي شبكي عليها grid structure؟

الإجابــة

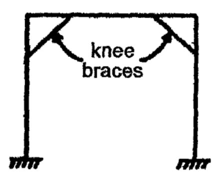
إن عناصر الشبكة سوف يتم تصميمها على أساس:

١. عزم الانحناء.

٢. قوة القص. ٣. عزم الالتواء.

س ٢-١٧: ما هو شكال الركبة knee brace؟

الإجابــة



الشكل ٢-٤: إطار معدني مركب به شكال للركبة

شكالات الركبة يتم تركيبها في وصلات الكمرة مع العمود في الإطار (انظر الشكل ٢-٤)، وفائدة هذا الشكال أنه يخفض عزوم الانحناء عند الوصلات.

إن شكالات الركبة تستخدم أساسًا في الإطارات المعدنية خصوصًا الإطارات الحاملة للكباري.

س ٢-١٨: ما هو تأثير الحرارة على العناصر المكونة للجمالون المستوى المحدد استاتيكيًا؟

الإجابــة

في المنشآت المحددة استاتيكيًا فإن التغيرات الحرارية لا تكون أية إجهادات داخلية. إن التغيرات في أطوال العناصر قد تؤدي إلى إزاحات في الوصلات ولكن هذا لا ينتج عنه أية إجهادات داخلية أو تغيرات في ردود الأفعال الخارجية.

س ٢-١٩: كيف نفرق بين نوعي الجمالونات، النوع الأول (السطحي)، والنوع الثاني (المتحلل) through type؟

الإجابــة

الجمالون السطحي يكون في الطريق أعلى مستوى الحافة العلوية للجمالون top chord، وبالتالي عندما نصعد فوق الطريق لا نرى الجمالون الحامل له. أما الجمالون المتخلل فيكون الطريق محمل على مستوى الحافة السفلية. وبالتالي عندما نسافر على الطريق نجد أمامنا عناصر أعصاب الجمالون على يسارنا وعلى يميننا وهذا يعطينا انطباع بأننا نمشي (خلال) الكوبري.

س ٢-٢٠: ما هو الكوبري نصف المتخلل half through bridge؟

الإجابــة

هذا الكوبري يكون فيه سطح الكوبري عند مستوى منتصف ارتفاع الجمالون. وفي هذه الكباري فإن أحمال العارضات الثانوية تنتقل إلى الحافة السفلية مثل الكباري المتخللة through bridges.

س ٢-٢١: ما هي الطريقة المفضلة لتحليل منشأ شبكي؟

الإجابــة

١. في شكلها البسيط فإن الشبكات يمكن تحليلها على أساس أنها كمرات رئيسية وكمرات ثانوية.

٢. الشبكات يمكن تحليلها على أساس أنها الواح مستعمدة orthotropic plates.

٣. التحليل الحقيقي للشبكات يمكن عمله بواسطة طرق المصفوفات (مصفوفات الجساءة والمرونة stiffnes or flexibility method). هذه الطريقة فقط يمكن أن تساعدنا في تحديد قوى القص وعزوم الانحناء والالتواء في كل عنصر من عناصر الشبكة.

س ٢-٢٢: ما فائدة تطبيق طريقة الطاقة في التحليل الإنشائي energy method؟

الإجابــة

١. إن طرق الطاقة تعتبر عالمية.

٢. إن كل نظام إنشائي يتحمل قوى داخل عناصره الرئيسية أو الثانوية بحيث إن الطاقة الكلية تكون في أصغر قيمة. إذًا فإن هناك قوى N (قوى داخلية أو ردود أفعال)، فإن كل قوة نموذجية F_i تأخذ قيمة بحيث يكون:

$$\frac{\partial U}{\partial F_i} = 0$$

حيث $U=$ الطاقة الكلية.

لذلك فإننا نحصل على معادلات كثيرة كلما كان هناك قوى يلزم تحديدها.

٣. إن الفائدة الرئيسية هي أن F_i يمكن أن تكون عزم انحناء أو التواء أو قص أو قوة ضغط محوري أو رد فعل ركيزة ما. كل هؤلاء يمكن أن نوجدهم بهذه الطريقة.

س ٢-٢٣: ما هي طاقة الانتقال المختزنة في قضيب طوله 1، وجساءته المحورية A_E نتيجة قوة محورية P؟

الإجابــة

الطاقة الانفعالية المختزنة

$$U\frac{P^2L}{2A_E} = \text{الطاقة الانفعالية المختزنة}$$

س ٢-٢٤: اذكر المبدأ من طريقة طاقة الانفعال اللازم لتحديد رد فعل مجهول؟

الإجابــة

في أي منشأ فإن القوى الداخلية وقوى رد الفعل تأخذ تلك القيمة التي سوف تحافظ علـى كافـة الأفعال في حدها الأدنى.

فإذا كان هناك رد فعل غير معلوم R فيجب علينا الحصول على كل ردود الأفعال والقوى الداخلية (مثل عزم الانحناء وقوى القص والقوى المحورية) بدلالـة R ، ثـم نسـتطيع الحصـول على طاقة الانفعال $E = f(R)$. والآن $\partial E / \partial R = 0$ ولذلك نستطيع الحصول على R.

س ٢-٢٥: في حالة جمالون غير محدد استاتيكيًا، زادت درجة حرارة عنصر واحد. فما هي طبيعة القوى التي سوف تنشأ في هذا العنصر؟

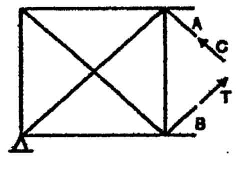
الإجابــة

قوة ضغط.

س ٢-٢٦: ما هو معنى وفائدة استخدام القطريات المتعاكسة في جمالونات الكباري؟

الإجابــة

في جمالونات الكباري فإن قطريات الباكيات القريبة من منتصف البحر يمكن أن ينشأ عنها شـد أو ضغط اعتمادًا على موقع الحمل الحي (انظر الشكل ٢-٥).



الشكل ٢-٥: الجسم الحي free body

إن العناصر المضغوطة يجب تصميمها ضد الانبعاج المحتمل، لذلك فإنهم لابد أن يمتلكـون عزم قصور ذاتي كبير ومساحة كبيرة وبالتالي يصبحون أكثر تكلفة اقتصاديًا.

وأنه من الأرخص اقتصاديًا أن يصبح لديك قطرين متعاكسين في الباكيـة أرخـص مـن قطـر واحد يؤثر فيه قوة ضغط.

وعندما يكون لدينا قطرين فإن الوصلات يتم عملها بحيث يكون العنصر غير فعال في الضغط وإنما يصبح فعالاً في الشد فقط.

هذه الطريقة من عمل شكالاين في باكية واحدة تسمى "طريقة الشكالات المتعاكسة" counter bracing.



الإحساس الهندسي

في الركائز

٣-١ تعريف الركائز

الركائز جمع كلمة ركيزة، والركيزة هي كل ما يرتكز عليه المنشآ الخرساني أو المعدني أو كل ما يرتكز عليه العنصر الإنشائي المنفرد بذاته.

الحالة الأولى

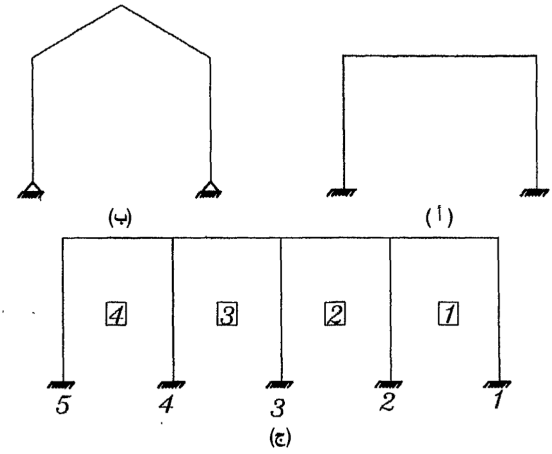
وهي الركائز التي يرتكز عليها المنشأ الخرساني هي الأساسات foundations، أو القواعد الخرسانية المسلحة footings. وهذه الأساسات أو القواعد الخرسانية المسلحة تنقسم إلى أنواع كثيرة، وهي على سبيل التفصيل مذكورة في كتاب "تصميم الأساسات"، للمهندس/ خليل إبراهيم واكد – إصدار دار الكتب العلمية. أما على سبيل الإجمال فإن الأساسات تشمل الأنواع التالية:

١. قواعد منفصلة مرتكزة على تربة طبيعية تُسمى "تربة الأساس".
٢. قواعد مشتركة.
٣. قواعد مستمرة متصلة
٤. قواعد مرتكزة على خوازيق.
٥. لبشة خرسانية مسلحة أسفلها لبشة خرسانية عادية (فرشة بسمك من 10 cm إلى 20 cm)، ترتكز بدورها على تربة طبيعية هي تربة الأساس.

الحالة الثانية

وهي أن الركيزة هي ما يرتكز عليها العنصر الخرساني المنفرد، وهذه هي ذات الأهمية القصوى في هذا الباب وبالتالي في هذا الكتاب، فهي أساسًا تعتبر الركيزة التي يرتكز عليها العنصر

الرأسـي للمنشـأ الخرسـاني وهـو إمـا يكـون عمـودًا خرسـانيًا R.C column أو عمـود معـدني steel column أو يكون عنصر رأسي في إطار خرساني مسلح vertical leg of R.C frame. هـذا الإطار يمكـن أن يكـون إطـارًا منفـردًا بابيًا portal frame وفي هـذه الحالـة يمتلـك هـذا الإطـار ركيزتين (الشكل ٣-١أ)، أو إطارًا مثلثيًا لـه رجلـتين رأسـيتين (الشكـل ٣-٢ب) وأيضًـا يكـون لهذا الإطار المثلث ذو الباكية الواحدة ركيزتين.



الشكل ٣-١: أنواع مختلفة من الإطارات ذات الطابق الواحد

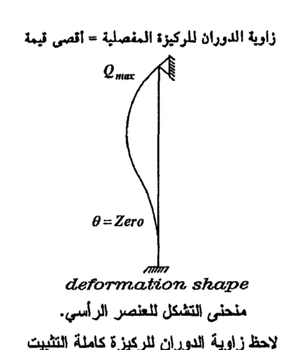
أما في حالة إطار ذو دور واحد متعدد الباكيات بافتراض أن الإطار ذو دور واحد ولـه أربـع باكيات يكون له خمسة ركائز (انظر الشكل ٣-١ج) لأن له عدد 5 أرجل رأسية.

والسؤال المهم الآن هـو: ما هي أنواع الركائز supports التي يرتكز عليها العنصر الخرسـاني المنفرد R.C members. أي أن المبنى building (structure) يرتكز على أساسـات foundations، أو القواعد الخرسانية المسلحة footings، والعنصر member يرتكز على ركائز supports.

٣-٢ أنواع الركائز للعناصر الإنشائية

يوجد خمسة أنواع من الركائز supports الرئيسية في جميع أنواع المنشآت الخرسـانية والمعدنيـة وهي كالتالي:

(أ) الركيزة كاملة التثبيت



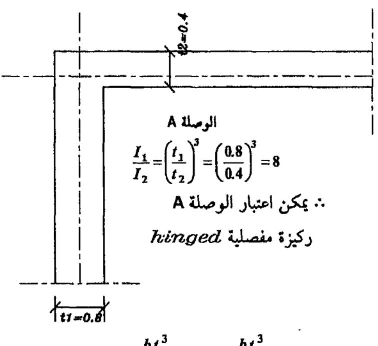
لاحظ زاوية الدوران للركيزة كاملة التثبيت

$Zero = \theta$

hinge

fixed

النظام الإنشائي للعنصر الرأسي في الإطار



$$I_1 = \frac{bt_1^3}{12}, \qquad I_2 = \frac{bt_2^3}{12}$$

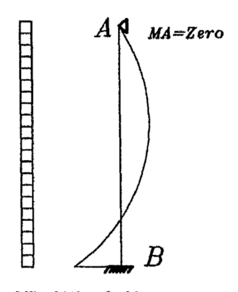
العناصر الخرسانية في ركبة إطار خرساني

الشكل ٣-٢

والركيزة كاملة التثبيت totally fixed support تتميز بالآتي:

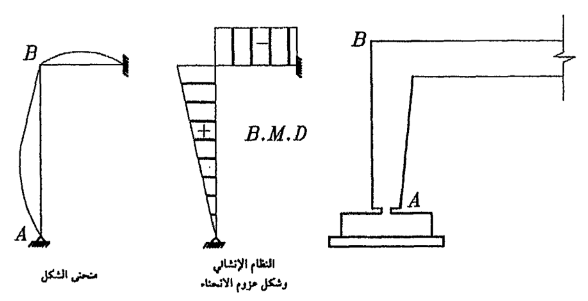
١. زاوية الدوران عندها تساوي صفر (انظر الشكل ٣-٢).

٢. يحدث عندها أكبر عزوم انحناء عند الطرف السفلي للعنصر الإنشائي الرأسي أو المتصل بالركيزة (انظر الشكل ٣-٣).



الشكل ٣-٣: شكل عزوم الانحناء نتيجة أحمال الرياح

(ب) الركيزة المفصلية



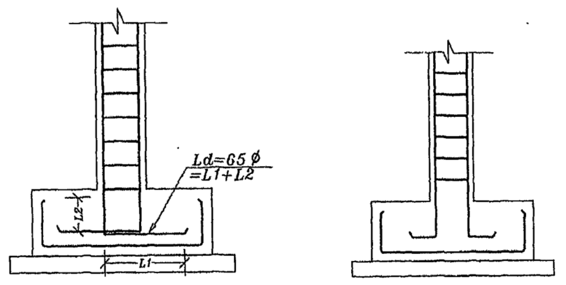
الشكل ٣-٤: شكل عزوم الانحناء لإطار خرساني له ركيزة مفصلية

الركيزة المفصلية hinged support مماثلة لقدم الإطار الخرساني الرأسي عند الطرف السفلي A، وتتميز بالآتي:

١. الدوران عند الركيزة المفصلية يساوي أقصى قيمة θ_{max} .

٢. لا يحدث عندها أي عزوم انحناء (عند الطرف السفلي A). أي أن $M_A = 0$.

ويمكن الحصول على الركيزة المفصلية بعمل طبقة (تخفيض في أعماق القطاع الخرساني على طول العنصر الرأسي للإطار الخرساني كما هو موضح بالشكل ٣-٤). أو يمكن الحصول عليها في المباني السكنية بافتراض أن الأعمدة مفصلية التثبيت في الأساسات hinged supports at bases، وتحقيق ذلك بعمل تفصيلة لحديد التسليح كما هو موضح بالشكل ٣-٥ (الشكل ٣-٥أ تسليح ركيزة مفصلية، والشكل ٣-٥ب تسليح نفس الركيزة إذا أردنا عمل هذه الركيزة كاملة التثبيت totally fixed أو مثبتة fixed).



الشكل ٣-٥أ: تسليح ركيزة مفصلية ما بين عمود وقاعدة خرسانية في مبنى إداري أو سكني

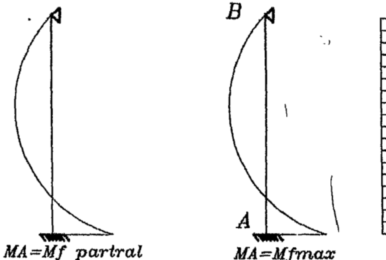
الشكل ٣-٥ب: تسليح ركيزة مثبتة ما بين عمود وقاعدة خرسانية في مبنى إداري أو سكني

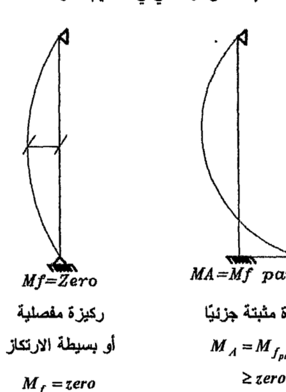
الشكل ٣-٥

(ج) الركيزة المثبتة جزئيًا

الركيزة المثبتة جزئيًا partially fixed هي ركيزة تسلك سلوك وسطي بين الركيزة كاملة التثبيت والركيزة المفصلية، ويمكن توضيح ذلك عن طريق شكل عزوم الانحناء في الثلاث حالات وقيم عزوم الانحناء وهي كما في الشكل ٣-٦. والركيزة المثبتة جزئيًا هي جميع أنواع الركائز الناتجة عن الوصلات connections بين العناصر الرأسية والأفقية أو الأفقية الأفقية في جميع أنواع الإطارات الخرسانية في المباني السكنية والإدارية.

جميع الوصلات A، B في كل الإطارات الثلاثة الموضحة في الشكل ٣-٧ تعتبر ركائز مثبتة جزئيًا.





ركيزة كاملة التثبيت يكون عزم التثبيت في هذه الحالة أقصى قيمة

$M_A = M_{f_{max}} = \frac{W L^2}{8}$

ركيزة مثبتة جزئيًا

$M_A = M_{f_{partial}}$

$\geq zero$

$\leq \frac{W L^2}{8}$

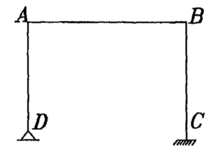
ركيزة مفصلية أو بسيطة الارتكاز

$M_f = zero$

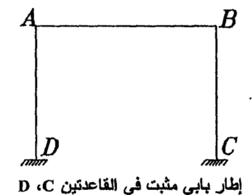
الشكل ٣-٦: مقارنة بين أنواع الركائز

A B D C

إطار خرساني مفصلي الارتكاز في C، D



إطار بابي ذو ركيزة مثبتة عند C، وركيزة مفصلية عند D

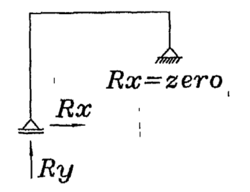


إطار بابي مثبت في القاعدتين C، D

الشكل ٣-٧

(د) الركيزة الحرة

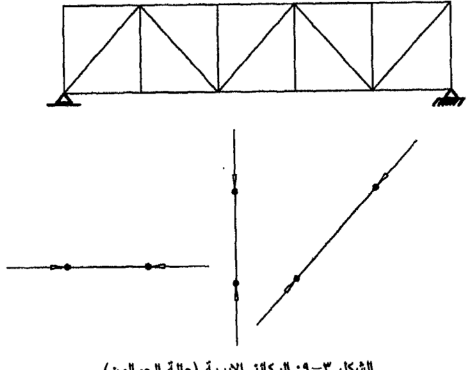
الركيزة الحرة roller support هي ركيزة تمتلك حرية الحركة في الاتجاه الأفقي (عادة) ومرتكزة رأسيًا فقط، أي تحمل رد فعل رأسي R_y أما رد الفعل الأفقي R_x يساوي صفر (انظر الشكل ٣-٨).



الشكل ٣-٨: إطار حر الحركة عند إحدى الركائز في الاتجاه الأفقي

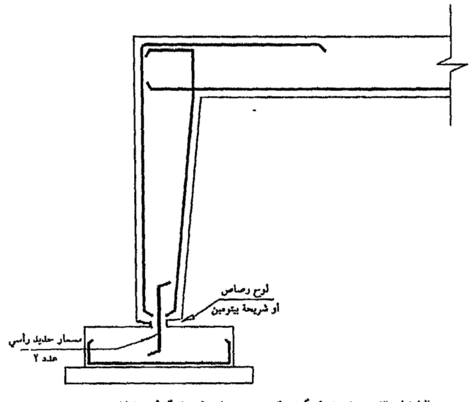
(هـ) الركيزة الإبرية

وهي جميع الركائز الناتجة عادة عن الوصلات بين العناصر الرأسية والأفقية والمائلة في الجمالونات الخرسانية والموضحة بالشكل ٣-٩ وهي الركائز تسمح فقط بنقل قوة في اتجاه محور العنصر الخرساني فقط سواء كان العنصر مائل أو رأسي أو أفقي كما هو موضح بالشكل ٣-٩.

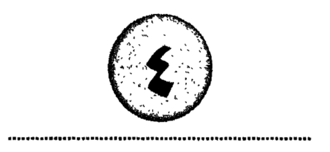


الشكل ٣-٩: الركائز الإبرية (حالة الجمالون)

وفي الشكل ٣-١٠ نوضح حالة نموذجية لكيفية تحقيق ركيزة مفصلية hinged support في عنصر رأسي من إطار خرساني مسلح، حيث نلاحظ أنه تم فصل حديد تسليح العنصر الرأسي عن الاتصال مع القاعدة الخرسانية.



الشكل ٣-١٠: كيفية تحقيق ركيزة مفصلية في إطار خرساني



الإحساس الهندسي

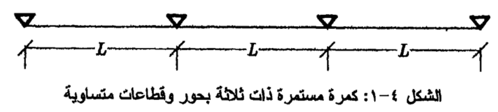
في عزوم الانحناء

٤-١ مقدمة

إن عزوم الانحناء في العناصر الإنشائية المختلفة سواء كان العنصر كمرات مستمرة أو بلاطات مستمرة أو إطارات خرسانية أو أعمدة خرسانية أو أساسات تخضع جميعها لمجموعة من القواعد الهامة التي تفسر السلوك العام لهذا العنصر داخل المجموعة الكلية للعناصر الإنشائية المكونة للمبنى الخرساني تحت تأثير الأحمال الرأسية أو الأحمال الأفقية. وفيما يلي نبدأ في تحليل الإحساس الهندسي للعنصر الأول وهو الكمرات المستمرة تحت تأثير الأحمال الرأسية بخصوص عزوم الانحناء داخل هذا العنصر من الكمرات المستمرة.

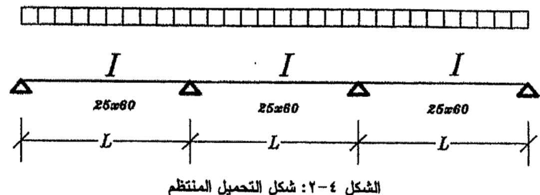
٤-٢ الإحساس الهندسي لعزوم الانحناء في الكمرات المستمرة تحت تأثير الأحمال الرأسية

حالة كمرة مستمرة ذات قطاعات خرسانية متساوية في جميع الباكيات مما يمثل عزم قصور ذاتي ثابت على طول بحور الكمرة المستمرة المتجاورة تحت تأثير أحمال رأسية (افترضنا كمرة مستمرة ذات ثلاث باكيات على سبيل المثال). انظر الشكلين ٤-١، ٤-٢ قبل قراءة التحليل التالي.



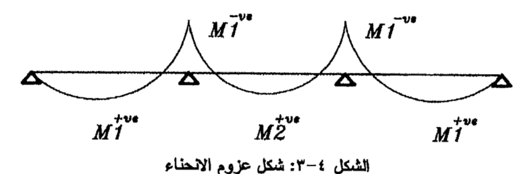
الشكل ٤-١: كمرة مستمرة ذات ثلاثة بحور وقطاعات متساوية

افترضنا كمرة مستمرة ذات ثلاث بحور متساوية.



الشكل ٤-٢: شكل التحميل المنتظم

في حالة الكمرة المستمرة ذات ثلاث بحور متساوية وقطاعات خرسانية متساوية (عزم قصور ذاتي ثابت) تحت تأثير حمل رأسي موزع بانتظام قيمته W t/m\ تكون قيمة عزوم الانحناء كالتالي (انظر الشكل ٤-٣):



الشكل ٤-٣: شكل عزوم الانحناء

$$M_1^{-ve} = \frac{WL^2}{10}$$

$$M_1^{+ve} = \frac{WL^2}{10}$$

$$M_2^{+ve} = \frac{WL^2}{12 \rightarrow 16}$$

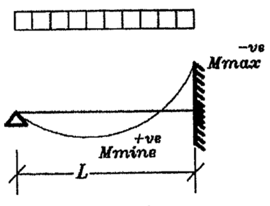
حسب الكود المصري للخرسانة، وطبقاً لحالات التحميل للأحمال الحية.

وبتطبيق نظرية الحد الأقصى والحد الأدنى نجد الآتي:

١. الحد الأقصى للعزم السالب للكمرة في حالة كمرة ذات باكية واحدة طرفها الأول كامل التثبيت والطرف الثاني مفصلي نجد الآتي (انظر الشكل ٤-٤):

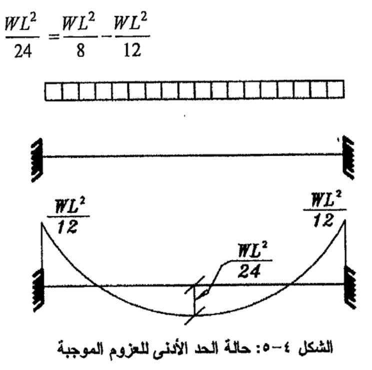
$$M_{max}^{-ve} = \frac{WL^2}{8}$$

٢. والحد الأدنى لعزم الانحناء السالب وجدناه في حالة كمرة مثبتة كليًا في الطرف الأول والطرف الثاني مثل الشكل ٤–٥، تحت حمل كلي منتظم التوزيع W t/m' . وبالتالي الحد الأدنى للعزم السالب أعلى الركيزة يساوي $WL^2/12$ والحد الأدنى للعزوم الموجبة في منتصف البحر من الشكل ٤–٥ كالآتي:



الشكل ٤–٤: حالة أقصى عزم انحناء سالب

$$\frac{WL^2}{24}=\frac{WL^2}{8}-\frac{WL^2}{12}$$



الشكل ٤–٥: حالة الحد الأدنى للعزوم الموجبة

ونخرج بالنتائج التالية:

١. أكبر قيمة للعزم السالب في كمرة تحت تأثير حمل منتظم التوزيع عند الطرف المثبتة كليًا يساوي $WL^2/8$.

٢. أقل قيمة للعزم السالب في كمرة تحت تأثير حمل منتظم التوزيع عند الطرف المثبت يساوي $WL^2/12$.

٣. أكبر قيمة للعزم الموجب عند منتصف بحر الكمرة (يكون للكمرة بسيطة الارتكاز) يساوي $WL^2/8$.

٤. أقل قيمة للعزم الموجب عند منتصف بحر الكمرة يساوي $WL^2/24$ من الشكل ٤–٥.

إذًا القاعدة التالية هامة للعزم الموجب:

$$\frac{WL^2}{8} \geq M_{+ve} \geq +\frac{WL^2}{24}$$

ويمكن كتابتها بالطريقة التالية:

$$M^{+ve} = \frac{WL^2}{K}$$

$$K_{max} = 8$$

$$K_{min} = 24$$

والقاعدة التالية للعزم السالب:

$$M^{-ve} = \frac{WL^2}{K}$$

حيث $K = \infty$ نظريًا حتى يعطي:

$$M = \frac{WL^2}{\infty} = zero$$

أما عمليًا فإن $K_{min} = 24$ طبقًا للكود المصري:

$$M^{-ve}_{min} = -\frac{WL^2}{24}$$

$$K_{max} = 8$$

$$M^{-ve}_{max} = \frac{WL^2}{8}$$

الحالة العامة:

$$K_{med} = 12$$

$$M^{-ve}_{med} = -\frac{WL^2}{12}$$

ويمكن كتابة المعادلة الهامة التالية للعزم السالب:

$$\frac{WL^2}{24}(min) \leq M^{-ve} \leq \frac{WL^2}{8}(max)$$

حيث الحد المتوسط:

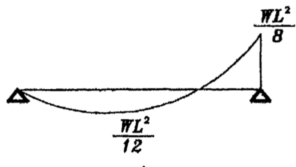
$$M^{-ve} = \frac{WL^2}{10 \rightarrow 12}$$

والكود يسمح بالمعاملات التالية لقيمة K في العزوم:

$$\frac{WL^2}{K} = M^{-ve}$$

حيث : $K = 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14$

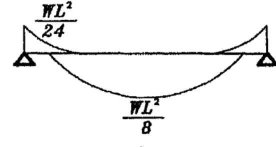
حسب حالات التحميل وعدد البواكي.



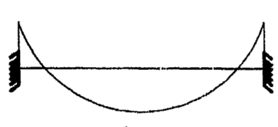
الشكل ٤-٧: شكل أقصى عزم سالب للانحناء وقيمته



الشكل ٤-٦: حالة الباكية الأولى لإعطاء أقصى عزم سالب

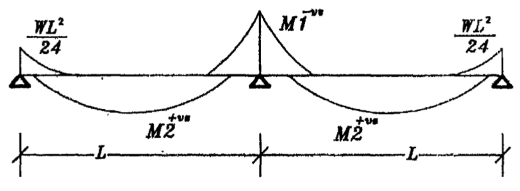


الشكل ٤-٩: حالة أقصى عزم موجب



الشكل ٤-٨: حالة أقل عزم موجب

مثال على حالة خاصة: كمرة ذات باكيتين (انظر الشكل ٤-١٠)



الشكل ٤-١٠: شكل عزوم الانحناء في كمرة ذات بحرين

حيث : $M_1^{-ve} = \frac{WL^2}{8} = max$

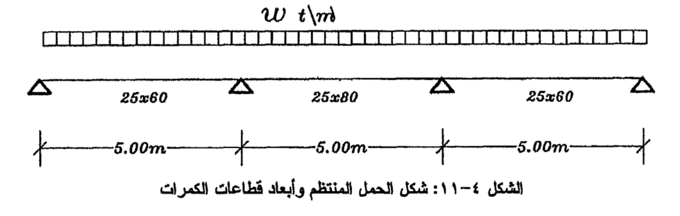
و $M_{min}^{-ve} = \frac{WL^2}{24}$

والعزم الموجب: $M_2^{+ve} = \frac{WL^2}{10}$

٣-٤ الإحساس الهندسي بتغير القطاعات في الكمرة المستمرة ذات حمل منتظم متساوي

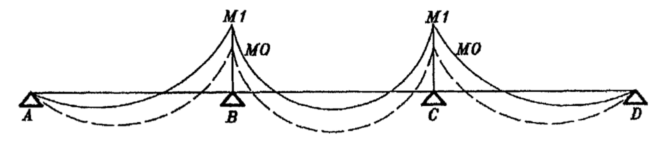
نفترض أن لدينا كمرة مستمرة ذات ثلاثة بحور متساوية ومعرضة إلى حمل موزع منتظم قيمته W t/m\. وسنقوم بدراسة تأثير تغير قطاع الكمرة في بحر من البحور بالزيادة عن البحرين الأخريين أو إنقاص بحر من البحور عن البحرين الأخريين.

(أ) زيادة قطاع البحر الأوسط إلى عرض 25 cm × عمق 80 cm مع افتراض أن البحرين الأخريين قطاع واحد هو 25 cm عرض × 60 cm سمك (انظر الشكل ٤-١١)



الشكل ٤-١١: شكل الحمل المنتظم وأبعاد قطاعات الكمرات

١. نجد أن عزوم الانحناء تصبح المنحنى المستمر، أما المنحنى المنقط فهو عزم الانحناء في حالة تساوي قطاع الكمرة 60 × 25 في البحور الثلاثة (انظر الشكل ٤-١٢).



الشكل ٤-١٢: أشكال عزوم الانحناء في الحالات المختلفة

٢. نجد أن عزم الانحناء ازداد إلى M_1 عند كل من الركيزة B، C بعد أن كان يساوي M_0 في حالة قطاع ثابت 60 × 25 في الثلاثة بحور (انظر الشكل ٤-١٢). فإذا افترضنا أن عزم

الانحناء M_0 عند الركيزة B في حالة قطاع ثابت تساوي 60 × 25 فإن:

$$M_0 = \frac{WL^2}{10}$$

فإن M_1 يمكن أن يصل إلى $WL^2/9$ نتيجة الاتصال القوي للبحر الطرفي AB، البحر الطرفي CD في البحر الأوسط BC القوي بالنسبة لهما لأن قطاع 80 × 25 أقوى بكثير من ناحية الجساءة K أو عزم القصور الذاتي I من قطاع 60 × 25، والنسبة بينهما كالتالي:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{25}{25}\right)\left(\frac{80}{60}\right)^3 = 2.36$$

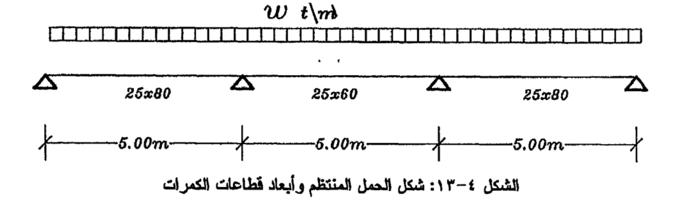
أما في حالة ثلاثة بحور متساوية القطاعات فإن:

$$I_1 = \frac{25 \times 60^{-3}}{12}$$

$$I_2 = \frac{25 \times 60^{-3}}{12}$$

$$\therefore \ \frac{I_1}{I_2} = 1$$

(ب) البحر الأوسط ذو قطاع 60 × 25 أقل من البحر الطرفي الأيمن 80 × 25 والبحر الطرفي الأيسر 80 × 25



الشكل ٤-١٣: شكل الحمل المنتظم وأبعاد قطاعات الكمرات

أي أن:

$$I_1 \text{ (الأوسط)} = \frac{25 \times 60^{-3}}{12}$$

$$I_2 \text{ (الطرف أيمن أو أيسر)} = \frac{25 \times 80^{-3}}{12}$$

$$\therefore \quad \frac{I_2}{I_1} = 2.36$$

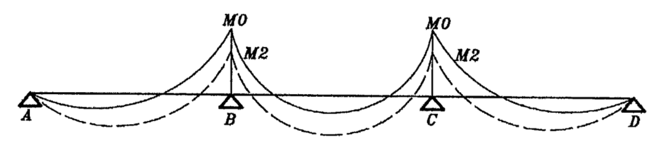
أي أن البحر الطرفي الأيمن الأقوى مرتبط بالبحر الأوسط الأضعف مما يؤدي إلى إنقاص عزم الانحناء عند الوصلة بين البحرين الأوسط والطرفي كما هو موضح بالشكل ٤–١٣.

والخط المستمر لمنحنى عزم الانحناء يمثل عزم انحناء الكمرة M_2 بالحالة المبينة بالشكل ٤–١٤ أما الخط المتقطع (المنقط) فيمثل منحنى عزوم الانحناء لكمرة مستمرة ذات قطاع متساوي للثلاثة بحور M_0. ونجد أن:

على سبيل المثال: $M_0 = \frac{WL^2}{10}$

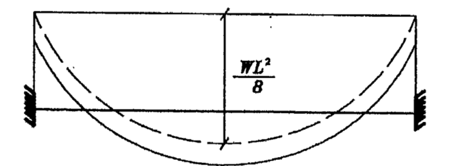
على سبيل المثال: $M_2 \square \frac{WL^2}{12}$

$$\therefore \quad M_0 > M_2$$



الشكل ٤–١٤: أشكال عزوم الانحناء في الحالات المختلفة

نتيجة أن البحر الطرفي القوي من حيث عزم القصور الذاتي $\left(25\times80^{-3}/12\right)$ ارتبط باستمرارية مع بحر أوسط ضعيف من حيث الجساءة K أو عزم القصور الذاتي $25\times60^{-3}/12$.



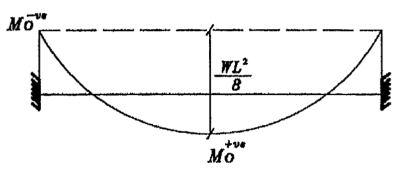
الشكل ٤–١٥: تغير عزم الانحناء الموجب حسب حالات التحميل وتغير أبعاد الكمرات

ونجد أنه كلما ازداد عزم الانحناء السالب يقل بالتالي عزم الانحناء الموجب عند منتصف نفس البحر الذي ازداد عند أطرافه العزم السالب (انظر الشكل ٤–١٥).

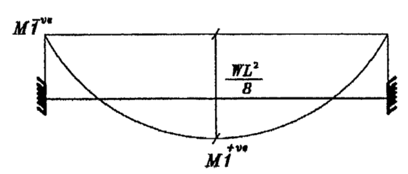
أي أنه إذا كان: $M_1^{-ve} > M_0^{-ve}$

فإن: $M_1^{+ve} < M_0^{+ve}$

لأن تعليق المنحنى المقطعي ذو الارتفاع $WL^2/8$ من منتصفه يكون التعليق من نقطتين أعلى في الحالة الأولى من نفس النقطتين في الحالة الثانية كما هو موضح بالشكلين ٤–١٦، ٤–١٧.



الشكل ٤–١٦: شكل عزم الانحناء الموجب في الحالة الأولى



الشكل ٤–١٧: شكل عزم الانحناء الموجب في الحالة الثانية

٤-٤ قاعدة هامة: متى يمكن إهمال استمرارية الكمرات فوق الركائز.

يمكن إهمال استمرارية الكمرات فوق الركائز إذا كان قطاع بحر الكمرة يمين الركيزة ذو قطاع له عزم قصور ذاتي أكبر أو يساوي ثمانية أمثال قطاع بحر الكمرة يسار الركيزة (انظر الشكل ٤–١٨).

$$I_1 = \frac{25 \times 40^{-3}}{12}$$

$$I_2 = \frac{25 \times 80^{-3}}{12}$$

$$\therefore \quad \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{25/12}{25/12}\right)\left(\frac{80}{40}\right)^3 = \left(\frac{80}{40}\right)^3 = (2)^3 = 8$$

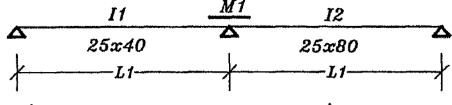
$$\therefore \quad 8I_1 \le I_2$$

إذًا في هذه الحالة يمكن اعتبار أن:

$$M_1 = 0$$

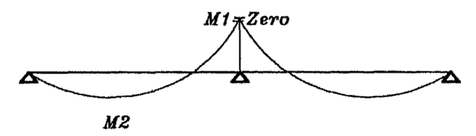
وأن

$$M_2 = \frac{WL^2}{8}$$



الشكل ٤-١٨: تغير أبعاد الكمرات ليعطي عزم انحناء سالب (بالحد الأدنى)

كأنه كمرة بسيطة الارتكاز، أي تصبح الكمرة ذات البحرين المستمرين كأنهـا بحـرين منفصـلين بسيطي الارتكاز (انظر الشكل ٤-١٩).



M2

الشكل ٤-١٩: أحمال العزم السالب يؤدي إلى انفصال الكمرة المستمرة

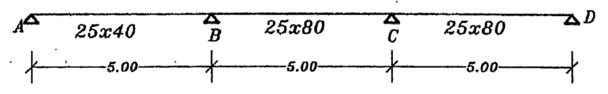
٤-٥ الإحساس الهندسي في عزوم انحناء كمرة مستمرة ذات حمل منتظم التوزيع متساوي القيمة (ذات بحور متساوية) وتغير القطاع لبحر واحد طرفي عن البحرين الأخريين (الأوسط والطرف الثاني)

$$I_1 = \frac{25 \times 80^{-3}}{12}$$

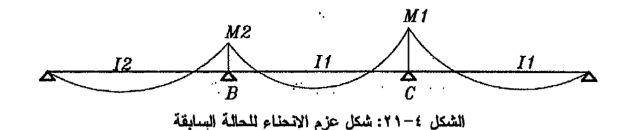
$$I_2 = \frac{25 \times 50^{-3}}{12}$$

نجد أن الركيزة C يمينها قطاع قوي ويسارها قطاع قوى فيصبح عندها عزم انحناء سالب كـبير (أكـبر مـن) الركيـزة B الـتي يمينهـا قطـاع قـوى 80 × 25 أمـا يسـارها فيوجـد قطـاع ضـعيف 50 × 25، ويكون منحنى وقيم عزوم الانحناء كما في الشكل ٤-٢١.





الشكل ٤-٢٠: شكل يبين تغير أبعاد الكمرة المستمرة ذات حمل متساو منتظم التوزيع والبحور المتساوية



الشكل ٤-٢١: شكل عزم الانحناء للحالة السابقة

حيث إن I_1 قوى + I_1 يسار C قوي فإن $M_2 < M_1$، وحيث إن I_1 قوى + I_2 يسار B ضعيف فإن $M_1 > M_2$.

٤-٦ حالة كمرة مستمرة من بحرين متساويين ذو قطاعين مختلفين في عرضين للكمرات مع تساوي أعماق الكمرتين

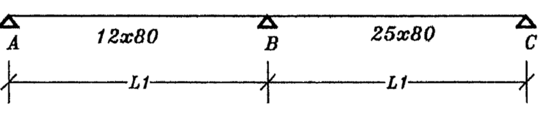
أي أن: $b_1 > b_2$

و $t_1 = t_2$

وأن: $b_1 = 25 \text{ cm}$

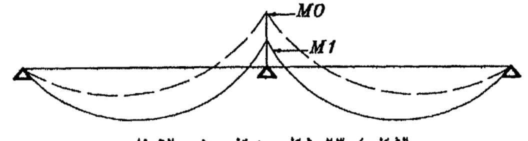
و $b_2 = 12 \text{ cm}$

و $t_1 = t_2 = 60 \text{ cm}$



الشكل ٤-٢٢: شكل الكمرة وأبعاد قطاعات الكمرة وحمل التوزيع متساو ومنتظم

نجد أن العزم عند الركيزة B يكون M_1 أقل من حالة عزم الانحناء عند الركيزة B لو أن $b_1 = b_2 = 25$ cm، أو في حالة أن $b_1 = b_2 = 12$ cm. أي أنه في حالة تغيير العرضين يمين ويسار الركيزة B يقل عزم الانحناء عند B عن حالة تساوي العرضين عند B أي أن $M_0 \geq M_1$ (حالة تساوي العرضين).



الشكل ٤-٢٣: شكل يبين تغير عزوم الانحناء

فعلى سبيل المثال في حالة كمرة ذات بحرين متساويين وقطاعين متساويين يمين ويسار الركيزة معرضة إلى حمل منتظم التوزيع W t/m' لكل من البحرين فإن:

$$M_0 = \frac{WL^2}{8}$$

أما في حالة القطاع بين الركيزة عرض 25 cm، العرض يسار الركيزة عرض 12 cm فإن:

(على سبيل المثال)
$$M_1 \cong \frac{WL^2}{14}$$

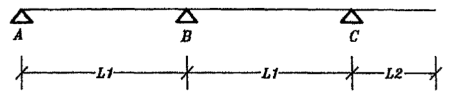
خاصة أن:
$$\frac{25}{12} = 2$$

لأن
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{b_2}{b_1} \times \frac{t_2^3}{t_1^3} \times \frac{12}{12}$$

فيكون I_2/I_1 يتناسب طرديًا مع b_2/b_1 فقط. أما في حالة تغيير الأعماق فإن I_2/I_1 يتناسب مع t_2^3/t_1^3، ويكون تأثير تغيير أعماق الكمرات أكبر تأثيرًا على عزوم الانحناء عند الركائز المستمرة (المتوسطة) للكمرات المستمرة أكبر تأثيرًا من حالة تغيير عروض الكمرات يمين ويسار الركيزة المتوسطة (المستمرة).

٤-٧ الإحساس الهندسي بكمرة مستمرة من بحرين ولهما امتداد كابولي محملة بحمل منتظم التوزيع متساوي على جميع البحور

وهي على سبيل المثال كما في الشكل ٤-٢٤. يمكن أن نحصل على القيمة النهائية للعزم عند الركيزة B بمبدأ التراكب (التجميع) superposition كالآتي:



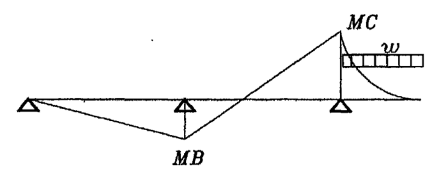
الشكل ٤-٢٤: شكل الكمرة المستمرة مع حمل التوزيع المنتظم

(أ) حالة تحميل الكابولي فقط

$$M_C = -\frac{WL_2^2}{2}$$

$$M_B = -\tfrac{1}{2}M_C$$

$$\therefore \quad M_B = -\left(-\frac{M_C}{2}\right) = +\tfrac{1}{2}\left(\frac{WL_2^2}{2}\right)$$



الشكل ٤-٢٥: شكل عَزم الانحناء للحالة السابقة

(ب) حالة استبعاد حمل الكابولي ودراسة الكمرة ذات البحرين المتساويين والحمل المنتظم التوزيع والمتساوي في القيمة

تكون العزوم كالتالي:

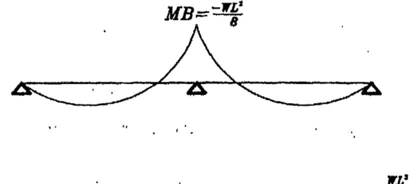
$$M_B = -\frac{WL^2}{8}$$

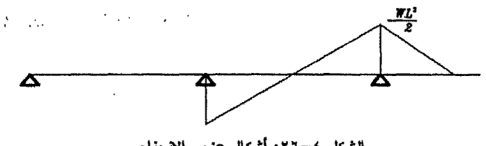
فيكون تجميع العزوم عند الركيزة B كالتالي:

$$\sum M_B = +\frac{WL_2^2}{4} - \frac{WL_1^2}{8}$$

وبالتالي نصل إلى نتيجة أن مهندس التصميم الإنشائي في كثير من الحالات لا يحتاج إلى

إجراء أية حسابات على الحاسب الآلي (الكمبيوتر) لسهولة الحصول على نتائج من خلال قواعد بسيطة في نظرية المنشآت.

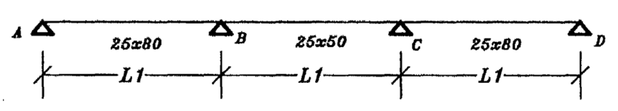




الشكل ٤-٢٦: أشكال عزوم الانحناء

٤-٨ الإحساس الإنشائي في كمرة مستمرة ذات ثلاثة بحور متساوية الطول، البحر الأوسط قطاعه ضعيف، والقطاعين الطرفيين قطاعاتها قوية

انظر الشكل ٤-٢٧.

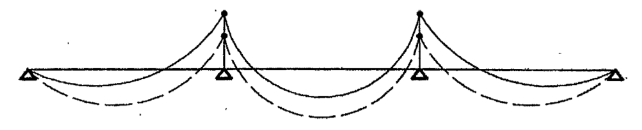


الشكل ٤-٢٧: أبعاد قطاعات الكمرة وشكل حمل التوزيع المنتظم المتساوي

نجد أن عزم الانحناء السالب فوق الركيزة C والركيزة B يكون ضعيفاً (قليلاً) ولكن يصبح العزم الموجب في منتصف البحر BC الأوسط يكون العزم الموجب كبيراً.

ملاحظة

عزم الانحناء المرسوم بالخط المتصل في حالة تساوي الثلاث بحور في قطاع واحد 80 × 25، أما الخط المنقط فهو عزم الانحناء في حالة اختلاف القطاع الأوسط (ضعيف) عن البحرين الطرفيين.



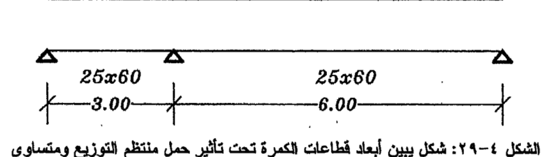
الشكل ٤-٢٨: أشكال تغير عزوم الانحناء بتغير أبعاد قطاعات الكمرات

أي أنه إذا كان القطاع الأوسط ضعيفًا فإن عزم الانحناء السالب أعلى الركيزة يمين ويسار البحر يكون ضعيفًا والعزم الأوسط عند منتصف البحر الموجب في البحر المتوسط يكون قويًا (أكبر من حالة تساوي القطاعات في الثلاثة بحور).

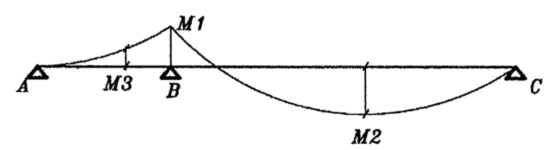
٤-٩ الإحساس الهندسي في كمرة مستمرة ذات بحرين أحدهما كبيرًا والآخر صغيرًا

(أ) الكمرة ذات بحرين (كبير وصغير) ولكن ذات قطاع متساوي للبحرين

بالرجوع إلى الشكل ٤-٢٩ نجد حمل منتظم التوزيع متساوي.



الشكل ٤-٢٩: شكل يبين أبعاد قطاعات الكمرة تحت تأثير حمل منتظم التوزيع ومتساوي

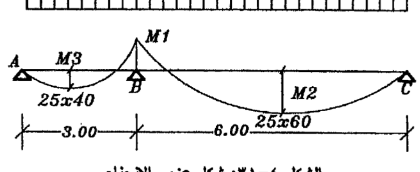


الشكل ٤-٣٠: شكل العزوم للحالة السابقة من أبعاد قطاعات الكمرات

ونجد شكل العزوم كما في الشكل ٤-٣٠. فنجد أن قيمة العزم السالب عند الركيزة B يساوي $-M_1$ ، والعزم الموجب في البحر > B يساوي $+M_2$ ، والعزم الموجب في البحر القصير AB يساوي $-M_3$ (سالب).

(ب) إضعاف البحر القصير لقطاع الكمرة

إذا قمنا بتغيير قطاع الكمرة في البحر القصير من 60 × 25 إلى 40 × 25، أي أننا قمنا بإضعاف البحر القصير نحصل على النتيجة التالية (انظر الشكل ٤-٣١). نجد أن العزم السالب عند الركيزة B تناقص إلى قيمة M_1' أقل كثيرًا من M_1 في الحالة الأولى. أي أنه في حالة إضعاف البحر AB نحصل على عزم سالب عند الركيزة B قليل جدًا ويساوي M_1' حيث $M_1' \square M_1$ عند B. وكذلك نحصل على M_3' أكبر من M_3 عند منتصف البحر AB، ونحصل على M_2' أكبر بكثير من M_2 عند منتصف البحر BC.



الشكل ٤-٣١: شكل عزوم الانحناء

منتصف BC: $+M_2' \square M_2$

منتصف AB: $+M_3' \square M_3$

ولاحظ أن النسبة بين $I_1 = 25\times60^{-3}/12$ والنسبة $I_2 = 25\times40^{-3}/12$ تساوي:

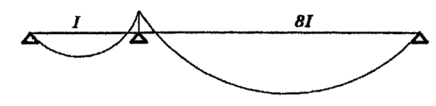
$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{60}{40}\right)^3 = (1.5)^3 = 3.37$$

25x40 25x80

L1=3.0 L2=6.0

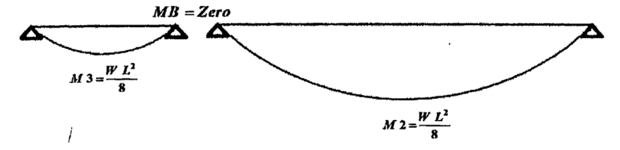
الشكل ٤-٣٢: النظام الإنشائي للكمرة

فإذا وصلت هذه النسبة في حالة إضعاف قيمة القطاع للكمرة الخرسانية على البحر AB إلى نسبة $8 \le I_1/I_2$ نصل إلى حل انفصال الكمرة المستمرة إلى كمرتين منفصلتين كل منهما كمرة بسيطة الارتكاز تقريبًا. يعني يمكن عند هذه النسبة إهمال الاستمرارية للكمرة المستمرة فوق الركيزة B واعتبار $M_B = 0$ كما سبق ذكره في الصفحات السابقة.



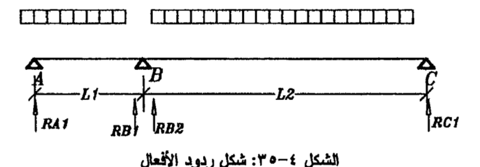
الشكل ٤-٣٣: شكل عزوم الانحناء

وصلنا إلى هذا الحل التقريبي كما في الشكل ٤-٣٤.



الشكل ٤-٣٤: حل انفصال الكمرة المستمرة إلى كمرتين

فإذا درسنا حالة الكمرة ذات البحرين غير المتساويين وقطاع كمرة 60 × 25 متساوي للبحرين تحت تأثير حمل منتظم التوزيع متساوي القيمة (ندرس هذه الكمرة) من حيث رد فعل الركائز نجد الآتي (باستخدام مبدأ التجميع superposition):



الشكل ٤-٣٥: شكل ردود الأفعال

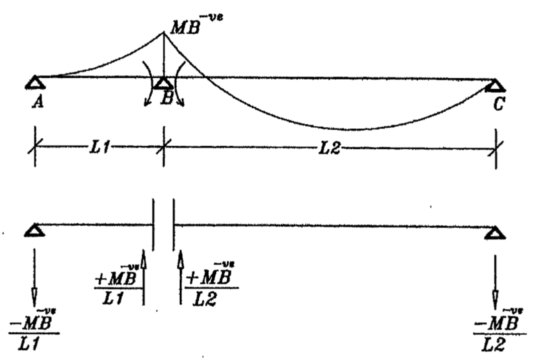
باعتبار الحمل الرأسي فقط (بإهمال العزم السالب فوق الركيزة B نتيجة الاستمرارية). نتيجة الأحمال الرأسية فإن:

$$R_{C_1} = +\frac{WL_2}{2}$$

$$R_{B_2} = +\frac{WL_2}{2}$$

$$R_{B_1} = +\frac{WL_1}{2}$$

$$R_{A_1} = +\frac{WL_1}{2}$$



الشكل ٤-٣٦: علاقة عزوم الانحناء بردود الأفعال

ولكن عند دراسة تأثير العزم السالب (نتيجة استمرارية الكمرة) فوق الركيزة B نجد الآتي (انظر الشكل ٤-٣٦):

١. نجد أن هناك رد فعل إضافي إلى أعلى عند الركيزة B نتيجة العزم السالب نتيجة الاستمرارية فوق الركيزة يساوي:

$$-\frac{M_B^{-ve}}{L_1}+\frac{M_B^{-ve}}{L_2}$$

٢. يوجد رد فعل سالب إلى أسفل يعني قوة شد عند كل من الركيزة C ويساوي M_B^{-ve}/L_2، وكذلك عند الركيزة A ويساوي $-M_B^{-ve}/L$ شد.

وللحصول على رد الفعل الإجمالي لكل ركيزة من الركائز A، B، C نجد أن:

$$R_A = +\frac{WL_1}{2}-\frac{M_B^{-ve}}{L_1}$$

ويمكن أن تكون نتيجة هذا التجميع رد فعل شد إلى أسفل، وهذا عادة ما يحدث. وكذلك عند الركيزة C نجد التجميع كالتالي:

$$R_C = +\frac{WL_2}{2}-\frac{M_B^{-ve}}{L_2}$$

ويمكن أن نجد نتيجة التجميع محصلة رد فعل رأسي إلى أسفل شد، ولذلك يجب على المصمم أن يأخذ في الاعتبار قوة الضغط فقط (إلى أعل) نتيجة الحمل الرأسي وتساوي $WL_1/2$ في الركيزة A، وكذلك عند الركيزة C نأخذ رد الفعل الرأسي الضغط فقط ولا نطرح منه قوة الشد إلى أسفل.

وقيمة رد الفعل هذا ضغط إلى أعلى نتيجة الحمل الموزع بانتظام متساوي ويساوي:

$$R_C = \frac{WL_2^2}{2}$$

ونقوم بإهمال رد الفعل الإضافي السالب (الشد) نتيجة عزم الانحناء السالب M_B زيادة في الاحتياط والآمان لأنه من غير المعقول أن نصمم هذه الركائز، وخصوصًا إذا كانت أعمدة خرسانية على قوة شد رأسية فقط.

٤-١٠ الإحساس الهندسي لعزوم انحناء كمرة محملة بحمل مركز في منتصف البحر

(أ) كمرة بسيطة الارتكاز معرضة لحمل مركز في منتصف البحر

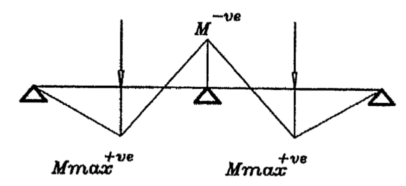
انظر الشكل ٤-٣٧، نجد الآتي:

$$M^{-ve} = 0$$

$$M_{max}^{+ve} = \frac{PL}{4}$$

الشكل ٤-٣٧: عزوم الانحناء نتيجة حمل مركز وسط الكمرة

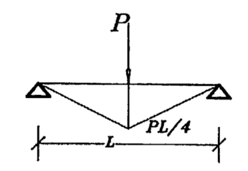
فإذا افترضنا أن هذه الكمرة أصبحت مستمرة نجد أن عزم الانحناء صار كما هو موضح بالشكل ٤-٣٨. ولإيجاد الإحساس الهندسي لقيمة عزوم الانحناء السالبة والموجبة في الكمرة المستمرة الموضحة بالشكل ٤-٣٨ يجب أن نطبق قاعدة الحدين الأقصى والأدنى.



الشكل ٤-٣٨: عزوم الانحناء لكمرة مستمرة تحت تأثير أحمال مركزة

أي أن الحد الأقصى لعزم الانحناء الموجب نحصل عليه من كمرة بسيطة الارتكاز كما هو موضح بالمعادلة السابقة (انظر الشكل ٤-٣٩):

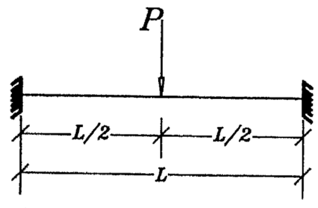
$$M_{max}^{+ve} = \frac{PL}{4}$$



الشكل ٤-٣٩: عزم الانحناء الموجب الأقصى

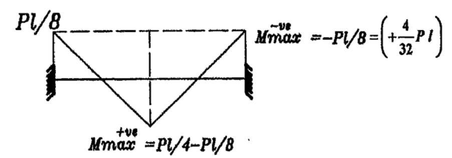
والحد الأقصى للعزم السالب يمكن أن نحصل عليه من الحالة التالية.

(١) حالة كمرة مثبتة من الطرفين الأيمن والأيسر ومعرضة لحمل مركز في منتصف البحر كالتالي:



الشكل ٤-٤٠: شكل النظام الإنشائي للكمرة وبالحمل المركز في منتصف البحر

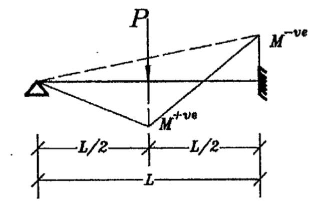
$$M_{max}^{-ve} = \frac{PL}{8}$$
$$M_{min}^{+ve} = \frac{PL}{8}$$



الشكل ٤-٤١: شكل عزم الانحناء السالب

وبدراسة الحالة الثانية المشتقة من هذه الحالة يمكن أن نصل إلى قيمة أعلى لعزم الانحناء السالب وقيمة أقل للعزم الموجب وهذه الحالة كالتالي.

(٢) حالة كمرة ذات طرف أيمن مثبت كليًا وطرف أيسر بسيط الارتكاز



الشكل ٤-٤٢: شكل عزم الانحناء

$$M_{max}^{-ve} = -\frac{PL}{8} - \frac{1}{2}\frac{PL}{8} = -\frac{3PL}{16}$$
$$M_{min}^{+ve} = -\frac{1}{2}\frac{3PL}{16} + \frac{PL}{4} = -\frac{3}{32}PL + \frac{8}{32}PL = +\frac{5}{32}PL$$

إذًا مما سبق الحد الأقصى لعزم الانحناء الموجب يساوي M_{max}^{+ve} حيث:

$$M_{max}^{+ve} = +\frac{PL}{4}$$

الحد الأدنى لعزم الانحناء الموجب يساوي M_{min}^{+ve} حيث:

$$M_{min}^{+ve} = +\frac{PL}{8}$$

لأن $\frac{5}{32}PL \geq \frac{4PL}{8} = \frac{PL}{2}$

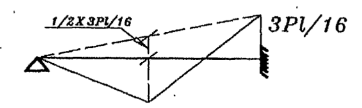
الحد الأقصى لعزم الانحناء السالب يساوي M_{max}^{-ve} حيث:

$$M_{max}^{-ve} = -\frac{3}{16}PL$$

لأن $-\frac{3}{16}PL \leq -\frac{2PL}{16} = -\frac{PL}{8}$

والحد الأدنى لعزم الانحناء السالب يساوي M_{min}^{-ve}.

في حالة كمرة بسيطة الارتكاز: $M_{min}^{-ve} = 0$



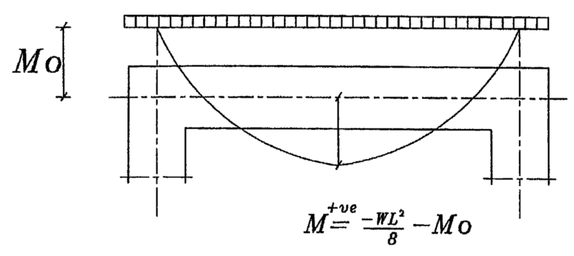
الشكل ٤-٤٣: قيم عزم الانحناء

وهذا افتراض نظري لأنه في واقع الأمر نادرًا ما توجد كمرة بسيطة الارتكاز فعليًا لأنه لا يوجد ركيزة مفصلية hinged support فعليًا ولا يمكن افتراض أي ركيزة على أنها edge support = hinged support فلابد أن يتواجد عزوم ما بين أي كمرة خرسانية وأي ركيزة خرسانية سواء كانت كمرة ثانوية مرتكزة على كمرتين رئيسيتين أو كمرة رئيسية مرتكزة على أعمدة خرسانية في جميع الحالات يتولد واقعيًا عزم انحناء فوق الركيزة نتيجة أن هذه الركيزة لها متانة وجساءة معتبرة rigidity لا يمكن اعتبار هذه المتانة أو الجساءة تساوي فعليًا بالصفر.

والشكل ٤-٤٤ (قطاع رأسي) يوضح لنا كمرة ثانوية محملة على كمرتين رئيسيتين ويبين لنا العزم الطرفي في حده الأدنى M_0 عند كل طرف وتتراوح قيمته حسب جساءة كل من الكمرة الثانوية والكمرة الطرفية والحد الأدنى لقيمة هذا العزم:

$$M_0 = \frac{WL^2}{24}$$

طبقًا للكود المصري لأعمال تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة كود رقم ٢٠٣ – عام ٢٠٠٧م – التحديث الثالث.



الشكل ٤-٤٤: شكل عزم الانحناء الفعلي لكمرة وحيدة البحر

وبالتالي يصبح لدينا الحد الأدنى لعزم الانحناء السالب نتيجة حمل مركز على الكمرة في منتصف البحر يمكن استنتاجه من قيمة الحد الأدنى لنفس العزم بالنسبة لحمل موزع بانتظام قيمته W وهو:

$$M_0 = \frac{WL^2}{24}$$

عن طريق تحويل الحمل المركز P إلى حمل منتظم التوزيع مكافئ له يساوي W عن طريق التعويض في المعادلة التالية:

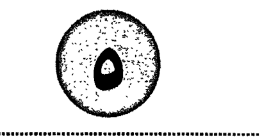
$$W = \frac{1.5P}{L}$$

حيث 1.5= معامل تكبير.

L = بحر الكمرة.

فيصبح الحد الأدنى لعزم الانحناء السالب M_{min}^{-ve} نتيجة حمل مركز P كالتالي:

$$M_{min}^{-ve} = \frac{1.5P}{L} \cdot \frac{L^2}{8}$$



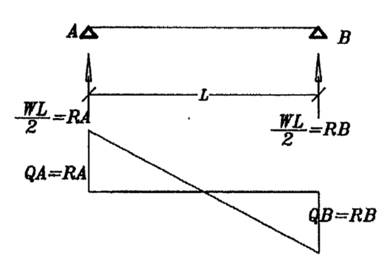
الإحساس الهندسي

بقوى القص

في الكمرات المستمرة

٥-١ مقدمة

الأصل في جميع الكمرات أن تكون كمرة بسيطة الارتكاز محملة بحمل منتظم التوزيع متساو وفي هذه الحالة تكون قوى القص كما هو موضح في الشكل ٥-١.



الشكل ٥-١: شكل قوى القص في كمرة بسيطة الارتكاز

أي أنه في حالة كمرة بسيطة الارتكاز يكون رد فعل الكمرة عند الركيزة A أو الركيزة B متساوي تمامًا مع قوة القص Q عند نفس الركيزة أي أن $Q_A = R_A$، $Q_B = R_B$.

٢-٥ الإحساس الهندسي بسلوك الكمرة المستمرة تحت تأثير قوى القص

والسؤال الآن: ماذا يحدث عندما تصبح الكمرة المستمرة ذات بحرين متساويين مثلاً ولها قطاع للكمرة متساوي (على سبيل المثال 60 × 25 لكل من البحرين) ومعرضة لحمل موزع بانتظام ومتساوي هو $W\ t/m^{١}$؟

الإجابة

نجد أن عزوم الانحناء في الكمرة ذات البحرين انقسمت إلى عزم انحناء سالب M^{-ve} عند الركيزة الوسطى B وعزوم انحناء موجبة M^{+ve} في منتصف كل من البحرين AB ، BC. والشكل ٥-٢ يبين لنا هذه الحالة.

في حالة كمرة بسيطة الارتكاز يكون رد الفعل R متساوي مع قوة القص Q عند كل من الركيزة A، B.

$$R_A = Q_A = \frac{WL}{2}$$

$$R_B = Q_B = \frac{WL}{2}$$

أما في هذه الحالة نجد أن:

$$R_A = Q_A = +\frac{WL}{2} - \frac{M_B^{-ve}}{L}$$

$$R_C = Q_C = +\frac{WL}{2} - \frac{M_B^{-ve}}{L}$$

ويكون رد فعل الركيزة الوسطية B كالتالي:

من البحر الأيمن للكمرة، فإن:

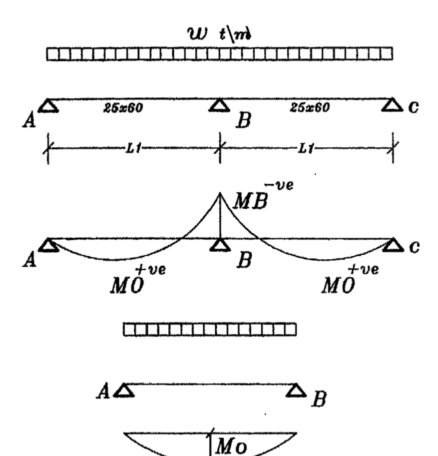
نتيجة الحمل الرأسي $R_{B_1} = +\frac{WL}{2}$

نتيجة عزم التربيط السالب $R_{B_2} = +\frac{M_B^{-ve}}{L}$

من البحر الأيسر للكمرة، نجد الآتي:

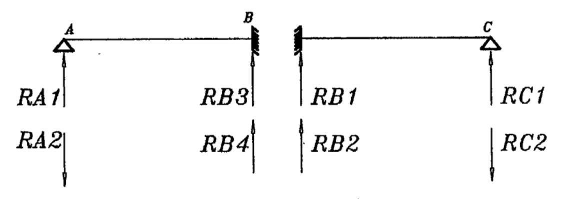
من عزم التربيط $R_{B_3} = +\frac{WL}{2}$

من عزم التثبيت (التربيط) $R_{B_4} = +\frac{M_B^{-ve}}{L}$



الشكل ٥-٢: أشكال عزوم الانحناء للحالات المختلفة

والشكل ٥-٣ يوضح الأربعة أنواع من ردود الأفعال عند الركيزة الوسطى.



الشكل ٥-٣: أنواع ردود الأفعال عند الركيزة الوسطى

ويكون رد الفعل الكلي عند الركيزة B

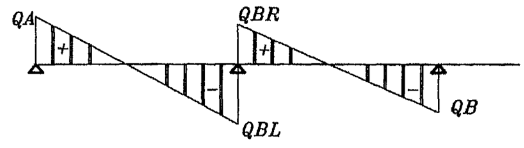
$$= R_{B_1} + R_{B_2} + R_{B_3} + R_{B_4}$$

أما قوة القص عند الركيزة B فتنقسم إلى قسمين:

قوة القص على يمين الركيزة B وتساوي: $Q_{B_{right}} = R_{B_1} + R_{B_2}$

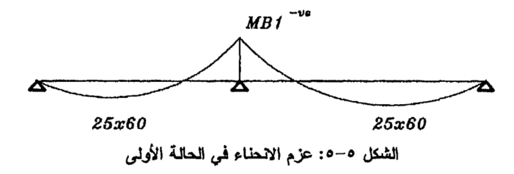
وقوة القص على يسار الركيزة B وتساوي: $Q_{B_{lift}} = R_{B_3} + R_{B_4}$

والشكل ٥-٤ يوضح هذه التوزيعة.



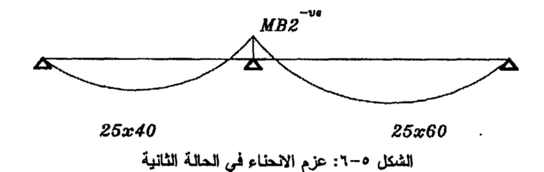
الشكل ٥-٤: مخطط توزيع قوى القص في كمرة مستمرة ذات بحرين

فماذا يتم عندما نضعف البحر الأيمن عند الركيزة B؟ وجدنا من الباب السابق أن هذا الإضعاف (تصغير القطاع الخرساني للكمرة) يؤدي إلى إنقاص قيمة العزم السالب M_B^{-ve} عند الركيزة B كما هو موضح في الشكل ٥-٥.



الشكل ٥-٥: عزم الانحناء في الحالة الأولى

حالة قطاع ثابت (عزم الانحناء السالب M_B^{-ve}). أما في حالة قطاع متغير لكل بحر قطاع ثابت مختلف عن البحر المجاور له فيكون العزم كما هو موضح بالشكل ٥-٦.



الشكل ٥-٦: عزم الانحناء في الحالة الثانية

ويكون $M_{B_2}^{-ve}$ أقل من $M_{B_1}^{-ve}$، وبالتالي تقل قيمة رد الفعل R_{B_2} ، R_{B_3} ، فيقل بالتالي قيمة قوى القص يمين ويسار الركيزة B وكذلك قيمة قوى القص عند الركيزة C، والركيزة A تقل عن مثيلاتها في الحالة السابقة (حالة كمرة ذات بحرين متساويين في القطاع الخرسانة).

٥-٣ الإحساس الهندسي بسلوك الكمرات في القص تحت تأثير الأحمال المركزية

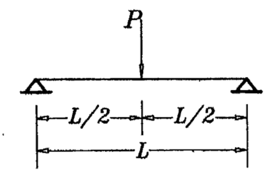
نستطيع أن نفهم سلوك الكمرات في القص تحت تأثير الأحمال المركزة عن طريق نظرية الحدين الأدنى والأقصى كالتالي.

(أ) حالة كمرة بسيطة الارتكاز معرضة لحمل مركز في المنتصف

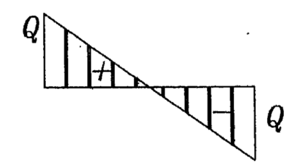
حيث L= بحر الكمرة.

P= القوة (نقطة التأثير في منتصف البحر).

إذًا يكون رد الفعل يساوي $P/2$، وتكون قوة القص Q،







الشكل ٥-٧: أشكال ردود الأفعال وقوى القص

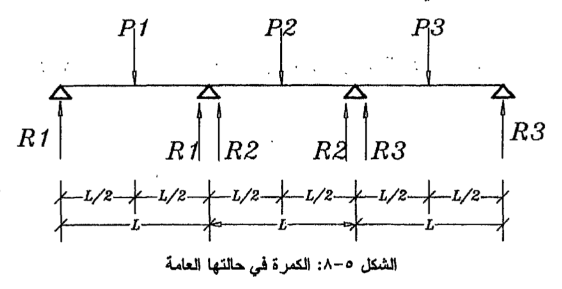
وهذا التوزيع للقص وقيمته، أي أن:

$$Q = R = \frac{P}{2}$$

تمثل القيمة المتوسطة للإحساس الهندسي لقوى القص.

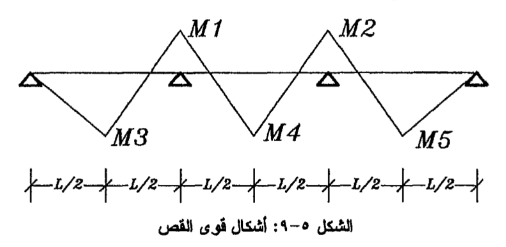
(ب) كمرة مستمرة من جهة واحدة

وهي الحالة القصوى، وهي كما في الشكل ٥–٨.



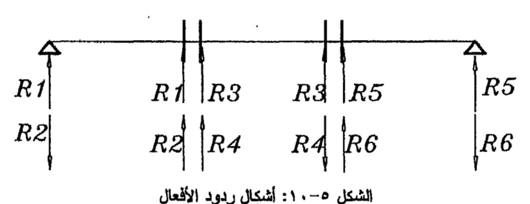
الشكل ٥–٨: الكمرة في حالتها العامة

افترضنا أن البحور الثلاثة متساوية لتسهيل الحسابات فقط. بدراسة هذه الكمرة نجد أن شكل عزوم الانحناء كما هو موضح في الشكل ٥–٩.



الشكل ٥–٩: أشكال قوى القص

ملحوظة: نفترض أن $M_1 > M_2$.



الشكل ٥–١٠: أشكال ردود الأفعال

في هذه الحالة:

$$R_1 = \frac{P_1}{2}$$

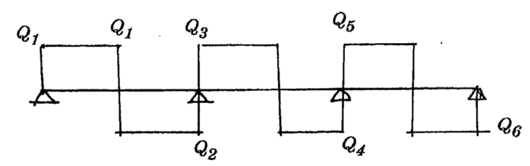
$$R_2 = \mp\frac{M_1}{L}$$

$$R_3 = \frac{P_2}{2}$$

$$R_4 = \mp\frac{M_1 - M_2}{L}$$

$$R_5 = \frac{P_3}{2}$$

$$R_6 = \mp\frac{M_2}{L}$$



الشكل ٥-١١: مخطط يبين شكل قوى القص المختلفة

وبحساب قوى القص على أوجه الركائز المختلفة من خلال ردود الأفعال عند الركائز المختلفة:

$Q_1 =$ قوة القص عند الركيزة (1) $= R_1 - R_2$

$Q_2 =$ قوة القص عند وجه الركيزة (2) الأيمن $= R_1 + R_2$

$Q_3 =$ قوة القص عند وجه الركيزة الأيسر $= R_3 + R_4$

$Q_4 =$ قوة القص عند وجه الركيزة الأيمن $= R_3 + R_4$

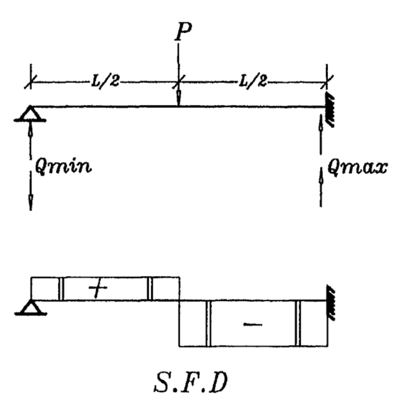
$Q_5 =$ قوة القص على وجه الركيزة الأيسر $= R_5 + R_6$

$Q_6 =$ قوة القص على وجه الركيزة الأيمن $= R_5 - R_6$

مما سبق يتضح أن:

١. الحد الأقصى لقوى القص نصل إليه في حالة وجود كمرة مستمرة من جهة واحدة على وجه الركيزة المستمرة من ناحية الركيزة الحرة.

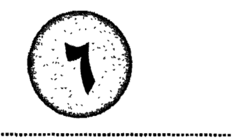
٢. والحد الأدنى لقوى القصى نحصل عليه من نفس الحالة ولكن على وجه الركيزة الحرة المواجه للركيزة المستمرة كما هو موضح بالشكل ٥-١٢.



الشكل ٥-١٢: أشكال قوى القص وردود الأفعال للحالة المعتبرة

٣. وفي حالة كمرة مستمرة من ناحيتين تكون قوى القص في حدها الأقصى على وجه الركيزة المستمرة المحمل عليها أكبر قيمة عزم انحناء سالب.

٤. والحد الأدنى لقوة القص نحصل عليه على وجه الركيزة المستمرة المحمل عليه أقل قيمة عزم انحناء سالب.



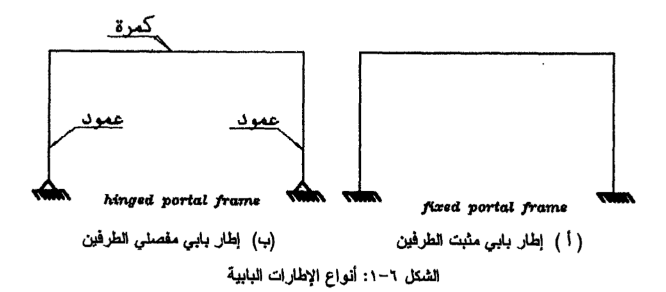
الإحساس الهندسي

بعزوم الانحناء

في الإطارات البابية

٦-١ مقدمة

المقصود بالإطار البابي portal frame هو الإطار المبين بالشكل ٦-١، وهو المكون من عنصرين رأسيين وعنصر أفقي. والإطار البابي أحد نوعين: نوع مثبت من الطرفين، ونوع مفصلي من الطرفين وهو مكون من كمرة مرتكزة على عمودين مربوطين بها.



(ب) إطار بابي مفصلي الطرفين (أ) إطار بابي مثبت الطرفين

الشكل ٦-١: أنواع الإطارات البابية

والإحساس الهندسي لهذا النوع من الإطارات (الإطارات البابية) ينحصر في قاعدة الحدين الأدنى والأقصى. وفيما يلي التفصيل.

٦-٢ تفاصيل الإحساس الهندسي

ندرس في هذا الشرح الإطار البابي المفصلي القدمين على سبيل المثال لا الحصر وهو كالتالي:

(أ) حالة الإطار ذو الكمرة القوية والأعمدة الضعيفة

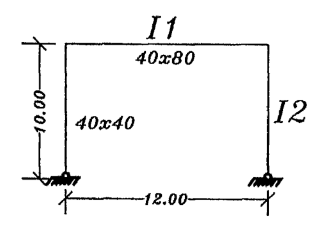
نفترض الأبعاد التالية:

ارتفاع العمود: $h_1 = h_2 = 6.00\ \text{m}$

بحر الكمرة: $L = 12.00$

قطاع العمود: 40×40

قطاع الكمرة: 40×80



الشكل ٦-٢: إطار بابي مفصلي القدمين

$$\therefore \quad I_1 = \frac{40 \times 80^{-3}}{12}$$

و

$$I_2 = \frac{40 \times 40^{-3}}{12}$$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{40 \times 80^{-3}}{40 \times 40^{-3}} \cdot \frac{12}{12} = 8.00$$

$$\therefore \quad I_1 : I_2 = 8 : 1$$

و

$$L_1 : L_2 = 12 : 6 = 2 : 1$$

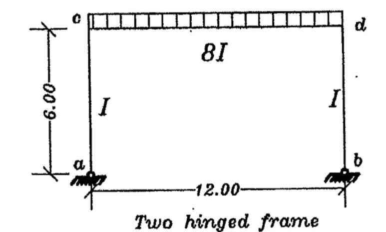
$$\therefore \frac{I_1}{L_1} = \frac{8}{2} = 4$$

و

$$\frac{I_2}{L_2} = \frac{1}{1} = 1$$

$$\therefore \quad K_1 : K_2 = \frac{I_1}{L_1} : \frac{I_2}{L_2} = 4 : 1$$

والآن نفترض أن هناك حملاً منتظم التوزيع مقداره $W = 4.00\ t/m'$ مركز عند منتصف بحر الكمرة، وندرس توزيع العزوم من خلال الجدول المساعد المرفق[1].



Two hinged frame

الشكل ٦-٣: إطار بابي مفصلي القدمين محمل بحمل منتظم التوزيع

$$H_a = H_b = \frac{P\,L^2}{4\,h\,N}$$

حيث:

$$N = 2K + 3$$

و

$$K = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{C} = \frac{8I_1}{I_1} \cdot \frac{6}{12} = 4$$

$$\therefore \quad N = 2 \times 4 + 3 = 11$$

$$\therefore \quad H_a = H_b = \frac{4 \times (12)^2}{4 \times 6 \times 11} = 2.18$$

$$R_A = R_B = \frac{4 \times 12}{2} = 24\ t$$

$$M_c = M_d = 2.18 \times 6 = 13.1\ m.t$$

$$M_0 = \frac{4 \times 12^{-2}}{8} = 72.00\ m.t$$

$$M_{cd}^{+ve} = 72.00 - 13.1 = 58.9\ m.t$$

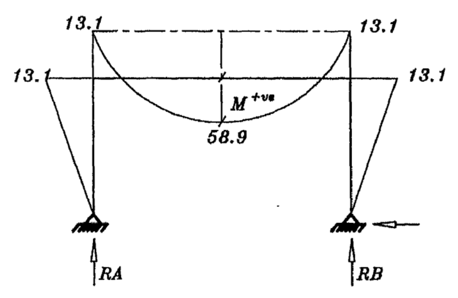
أي أنه في هذه الحالة وجدنا أن:

---

(١) المرجع رقم R5: R.C. Design Handbook، شاكر البحيري.

$M^{-ve} = -13.1 \text{ m.t}$

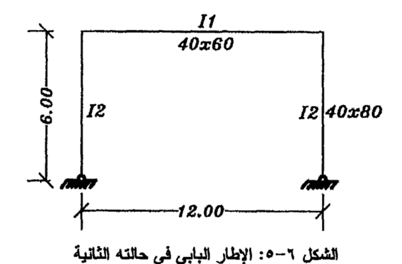
$M^{+ve}_{max} = -58.9 \text{ m.t}$



الشكل ٦-٤: شكل عزوم الانحناء

أي حصلنا على أقل قيمة للعزم السالب مع أكبر قيمة للعزم الموجب وللتأكد من هذه النظرية نفترض الحالة التالية.

(ب) حالة كمرة ضعيفة مع أعمدة قوية



الشكل ٦-٥: الإطار البابي في حالته الثانية

$$I_1 = \frac{40 \times 60^{-3}}{12}$$

$$I_2 = \frac{40 \times 80^{-3}}{12}$$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{60}{80}\right)^3 = 0.42$$

$$K = 0.42 \times \frac{6}{12} = 0.21$$

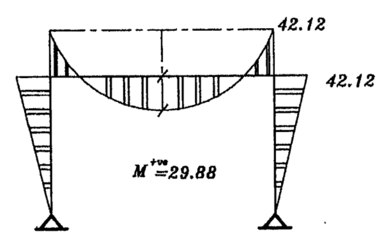
$$N = 2 \times 0.21 + 3 = 3.42$$

$$H_a = H_b = \frac{4 \times 12^2}{4 \times 6 \times 3.42} = 7.02 \text{ t}$$

$$M_c = M_d = 7.02 \times 6 = 42.12 \text{ m.t}$$

$$M_0 = \frac{4 \times 12^{-2}}{8} = 72.00$$

$$M_{max}^{+ve} = 72.00 - 42.12 = 29.88 \text{ m.t}$$



الشكل ٦-٦: عزوم الانحناء في الحالة الثانية

أي أننا في هذه الحالة حصلنا على أكبر قيمة للعزم السالب عند d، c، وحصلنا على أقل قيمة للعزم الموجب $M_0^{+ve} = 29.88$ m.t، ويكون $M_{max}^{-ve} = 42.12$ m.t = أكبر قيمة للعزم السالب.

الخلاصة

الإطار البابي حالة كمرة قوية وأعمدة ضعيفة نحصل على أقل قيمة للعزم السالب $M^{-ve} = 13.1$ m.t وأكبر قيمة للعزم الموجب يساوي 58.9 m.t. أي أن الكمرة تتصرف بطريقة أقرب إلى كونها كمرة بسيطة الارتكاز simple beam مع احتفاظها بعزم انحناء عند وصلات الترابط مع الأعمدة أقل ما يكون.

أما في حالة كمرة ضعيفة وأعمدة قوية، نحصل على أكبر قيمة للعزم السالب

$M^{+ve}=42.12$ m.t وأقل قيمة للعزم الموجب $M^{+ve}=29.88$ m.t. أي أن الكمرة في هذه الحالة تتصرف بطريقة قريبة من الكمرة المستمرة من الجهتين حيث يكون:

$$M^{+ve}=\frac{WL^2}{12}=\frac{4\times12^{-2}}{12}=48.00\ \text{m.t}\geq \text{M}^{+ve}\ (42.12\ \text{m.t})$$

بمعنى أن قيمة العزم السالب $M^{-ve}=42.12$ m.t تناظر قيمة $WL^2/14$ تقريبًا □ M^{-ve} وهي قيمتها:

$$\frac{4\times12^{-2}}{4}=41.14\ \text{m.t}$$

أما العزم الموجب $M^{+ve}=29.88$ فيناظر قيمة عزم:

$$\frac{WL^2}{18}=\frac{4\times12\times12}{18}=32\ \text{m.t}\ □\ 29.88\ \text{m.t}$$ (مساويها تقريبًا)

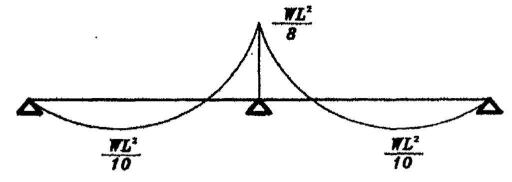
وفي حالة كمرة ضعيفة وأعمدة قوية وجدنا أن العزم السالب يساوي 13.1 m.t، وهي قيمة تناظر:

$$\frac{WL^2}{24}=\frac{4\times12^{-2}}{24}=24.00\ \text{m.t}$$

وهي أقل قيمة للعزم السالب يسمح بها الكود المصري لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة كود رقم ٢٠٣ لعام ٢٠٠٧م وما بعدها. أما العزم الموجب الأقصى فوجدناه يساوي 58.9 m.t وهي قيمة تناظر:

$$\frac{WL^2}{10}=\frac{4\times12^{-2}}{10}=57.8\ \text{m.t}$$

وهي أكبر قيمة عزم موجب M^{+ve} يسمح بها الكود المصري للخرسانة المسلحة في حالة كمرة مستمرة من جهة واحدة أو من جهتين وهي موضحة بالشكل ٦-٧.



الشكل ٦-٧: قيم عزوم الانحناء لكمرة ذات بحرين متساويين

الخلاصة

$$\frac{WL^2}{24} \leq M^{-ve} \leq \frac{WL^2}{12}$$
$$\frac{WL^2}{18} \leq M^{+ve} \leq \frac{WL^2}{8}$$

وذلك لجميع أنواع الإطار البابي سواء مفصلي الطرفين أو مثبت الطرفين (لأننا درسنا الحالة الأسوأ وهي المفصلي الطرفين). وذلك تحت تأثير الأحمال المنتظمة التوزيع متساوي القيمة على بحر الكمرة سواء كانت حالة كمرة قوية مع أعمدة ضعيفة أو كمرة ضعيفة مع أعمدة قوية.



الإحساس الهندسي

بعزوم الانحناء وقوى القص

في البلاطات الخرسانية

٧-١ حالة البلاطات المصمتة المرتكزة على كمرات ساقطة

البلاطات المصمتة المحاطة بكمرات نوعين كما هو معروف لدى عامة المهندسين الإنشائيين. النوع الأول، بلاطة ذات اتجاه واحد one way solid slab، والنوع الثاني، بلاطة ذات اتجاهين two way solid slab.

(أ) البلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد

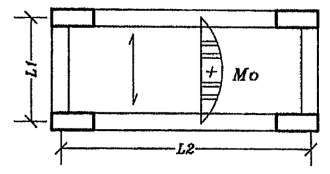
لكي ندرك الإحساس الهندسي للبلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد لعزوم الانحناء، وبالرجوع إلى الشكل ٧-١ نجد أن الحمل الكلي W على البلاطة يذهب في اتجاه واحد هو الاتجاه القصير وبالتالي يكون قيمة العزوم M_0 حيث:

$$M_0 = \frac{WL_1^2}{8}$$

أما الاتجاه الطويل فالحمل الذي يذهب إليه يساوي $W = 0$ وبالتالي فالعزوم في هذا الاتجاه تساوي 0. أي أن العزوم في البلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد تعتبر دالة في كل من الحمل W، وطول البحر L القصير.

وقد لاحظت من خلال خبرتي الطويلة الممتدة عبر ثلث قرن من الزمان في التصميم الإنشائي للخرسانة المسلحة أن الإحساس الهندسي للعزوم في البلاطات يمكن ترجمته إلى علاقة بين سمك البلاطة، الذي يعتبر نتيجة نهائية لعزوم الانحناء حيث إن العامل الحاكم في تصميم

البلاطات هو عزوم الانحناء وليس قوى القص التي غالبًا ما تكون في حدود الآمان الإنشائي خصوصًا في البلاطات المحملة على كمرات، كما يمكن ترجمته أيضًا إلى علاقة بين حديد التسليح للبلاطة في الاتجاه القصير وطول بحر البلاطة في القصير، مع مراعاة وضع الحد الأدنى لحديد التسليح في البحر الطويل للبلاطة ذات الاتجاه الواحد.



الشكل ٧-١: عزم الانحناء في بلاطة خرسانية مصمتة ذات اتجاه واحد

والعلاقات بين طول البحر وسمك البلاطة وحديد التسليح في البلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد يمكن وضعها كما في الجدول ٧-١.

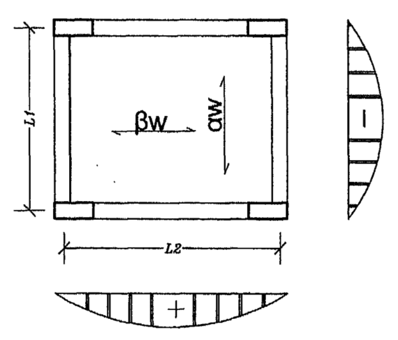
الجدول ٧-١: بيان العلاقة بين بحر البلاطة وسمك البلاطة وحديد التسليح

طول بحر البلاطة (m)	سمك البلاطة t (cm)	التسليح في اتجاه البحر القصير	التسليح في اتجاه البحر الطويل
1 → 2 m	10 cm	6∅10/m'	5∅10/m' الحد الأقصى لحديد التسليح
2.5 → 3.0 m	12 cm	7∅10/m'	5∅10/m'
3.5 m	14 cm	8∅10/m'	5∅10/m'
4.0 m	14 → 16 cm حسب الحمل	6∅10/m'	6∅10/m'
> 4.0 m ≤ 5.0 m	20 cm	ولكن غير مرغوب في عمل بلاطات ذات اتجاه واحد في مثل هذه البحور. ويفضل وضع كمرات إضافية لتحويل البلاطات إلى بلاطات ذات اتجاهين	

وكما تلاحظ لنا من خبرتنا السابقة فدائمًا يكون إجهادات القص shearing stresses في البلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد المحملة على كمرات جسيئة مصبوبة ميليثيا beams monolithically casted with slab فإن إجهادات القص دائمًا تكون في حدود الآمان الإنشائي.

(ب) البلاطات المصمتة ذات الاتجاهين المرتكزة على كمرات

الإحساس الهندسي لعزوم الانحناء في البلاطات المصمتة ذات الاتجاهين المرتكزة على كمرات يمكن أن ندركه بعد دراسة الشكل ٧-٢.



الشكل ٧-٢: عزوم الانحناء في البلاطات الخرسانية ذات الاتجاهين

إذا افترضنا أن الاتجاه القصير L_1 والاتجاه الطويل L_2 نجد أن $L_1 \leq L_2$ الحمل يذهب إلى كل من الاتجاهين، ولكن الحمل في جزئه الكبير يذهب إلى الاتجاه القصير والحمل في جزئه القليل يذهب إلى الاتجاه الطويل. فإذا افترضنا أن:

$$\frac{L_2}{L_1} = \checkmark$$

ومن جدول توزيع أحمال البلاطات الموجود في الكود المصري في الباب السادس (الكود المصري لتصميم وتنفيذ أعمال المنشآت الخرسانية المسلحة - كود رقم ٢٠٣ - لعام ٢٠٠٧م) نجد أن:

للاتجاه القصير: $\alpha = \checkmark$

للاتجاه الطويل: $\beta = \checkmark$

فإذا افترضنا أن قيمة الحمل الكلي على البلاطة لكل متر مربع واحد يساوي W فإن:

$$M_1 = \frac{\alpha W \ L_1^2}{8}$$

$$M_2 = \frac{\beta W \ L_2^2}{8}$$

من المعادلات السابقة ندرك أن عزم الانحناء دالة function في أبعاد البلاطة، والحمل الكلي عليها والإحساس الهندسي لعزوم الانحناء عند المهندس الإنشائي يتلخص في إدراك العلاقة بين أبعاد البلاطة المصمتة ذات الاتجاهين المرتكزة على كمرات وبين سمك هذه البلاطة وحديد التسليح فيها والذي يمكن وضع هذه العلاقات من خلال الجدول ٧-٢، مع ملاحظة أن إجهادات القص دائمًا في هذه الحالات تكون في حدود الآمان الإنشائي.

الجدول ٧-٢: العلاقة بين سمك البلاطة المصمتة ذات الاتجاهين وتسليحها وأبعاد هذه البلاطة في حالة المباني السكنية والإدارية

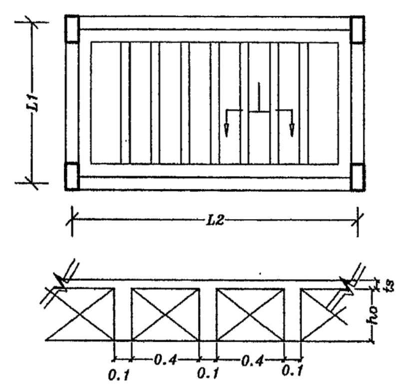
أبعاد البلاطة (m)	سمك البلاطة t (cm)	التسليح في الاتجاه القصير	التسليح في الاتجاه الطويل
≤ 4×4	10 cm	5Ø10/m'	5Ø10/m'
≤ 4.5×4.5	12 cm	7Ø10/m'	7Ø10/m'
≤ 5×5	14 cm	6Ø12/m'	6Ø12/m'
≤ 6×6	16 → 18 cm حسب الأحمال	6Ø16/m'	6Ø16/m'
≤ 7×7	20 → 22 cm حسب الأحمال	7Ø16/m'	7Ø16/m'
> 7×7	لا نفضل عمل بلاطات ذات اتجاهين بهذه الأبعاد ونلجأ لحلول أخرى		

في جميع البلاطات ذات السمك أكبر من 15 cm نستخدم شبكة تسليح علوية 5Ø10/m' لكل اتجاه لمقاومة الانكماش طبقًا لتعليمات الكود المصري لأعمال تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة – كود رقم ٢٠٣ – لعام ٢٠٠٧م.

وكما سبق ذكره فإن إجهادات القص في هذا النوع من البلاطات تكون دائمًا في حدود الآمان الإنشائي. أي أن العامل الحاكم للتصميم في هذا النوع من البلاطات يكون عزوم الانحناء فقط.

٧-٢ حالة البلاطات ذات البلوكات المفرغة

البلاطات ذات البلوكات المفرغة تنقسم إلى نوعين. النوع الأول، ذات الاتجاه الواحد والبلاطات المفرغة ذات الاتجاهين. والنوع الثاني، ذات الاتجاهين، غير مرغوب فيها لأنها صعبة جدًا في تنفيذها وتكلفة تنفيذها عالية وتستبدل عادة بنظام البلاطات المسطحة flat slab.



الشكل ٧-٣: البلاطات الخرسانية ذات البلوكات المفرغة

أما بالنسبة للنوع الأول للبلاطات المفرغة ذات الاتجاه الواحد فقد وجدنا بالخبرة الطويلة أن إجهاد القص فيها غير حاكم للتصميم لأن إجهادات القص دائمًا تكون في حدود الآمان في جميع المباني الإدارية والسكنية والمستشفيات، أما العامل الحاكم في التصميم فهو دائمًا عزوم الانحناء والتي تتلخص العلاقة بينها وبين العناصر الأخرى للتصميم في المعادلات التالية:

$$W^{\backslash} = W\,(cd \rightarrow cd) = W\,(0.4 + 0.1) = 0.5W \ \ \mathrm{t/m^{\backslash}}$$

حيث W= الوزن الكلي للمتر المسطح من سقف البلاطات المفرغة، شاملاً الحمل الحي، وهو يتراوح عادة ما بين $0.75 \rightarrow 0.90 \ \mathrm{t/m^2}$.

وإذا افترضنا أن بحر العصب الواحد يساوي L_1 حيث:

$L_1 =$ طول الاتجاه القصير.

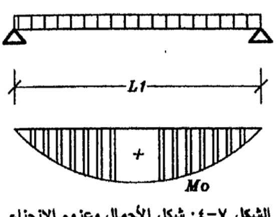
$L_2 =$ طول الاتجاه الطويل.

حيث: $L_2 \geq 2L_1$

نجد أن أقصى عزم في منتصف بحر العصب M_0 حيث:

$$M_0 = \frac{W^{\backslash} L_1^2}{8}$$

للحالة الموضحة في الشكل ٧-٤.



الشكل ٧-٤: شكل الأحمال وعزوم الانحناء

ولإدراك الإحساس الهندسي لعزوم الانحناء للبلاطات المفرغة ذات الاتجاه الواحد يجب أن نعرف من المعادلة السابقة أنه بالنسبة لجميع المباني الإدارية والسكنية فإنه يكاد يكون عزم الانحناء له علاقة مباشرة (دالة function) بطول بحر العصب لأن الحمل $W^{\backslash}$ تقريبًا ثابت في معظم الأحوال، والمعامل 8 ثابت ولا يتغير إلا في حالة البلاطات ذات الأعصاب المستمرة، فيصبح المعامل 10، أي أن العزم يصبح:

$$M_0 = \frac{W^{\backslash} L_1^2}{10}$$

وبالتالي يمكن إدراك الإحساس الهندسي لتأثير عزوم الانحناء في هذا النوع من البلاطات ذات الأعصاب في اتجاه واحد من خلال الجدول ٧-٣ الذي يربط علاقة قوية بين بحر العصب وسمك العصب وعرض العصب وكذلك حديد التسليح السفلي في العصب الواحد في حالة عصب بسيط الارتكاز (غير مستمر) simple beam rib.

الجدول ٧-٣: العلاقة بين بحر العصب بسيط الارتكاز وأبعاد وتسليح العصب
(سمك بلاطة السقف المصمتة 5 cm)

بحر العصب (m)	أبعاد العصب		التسليح السفلي للعصب	كانات العصب (مفتوحة)	ملاحظات
	عرض العصب	سمك العصب			
≤ 2.00	0.10	0.20	≥ 2∅10	5∅8/m\	
≤ 3.00	0.10	0.25	≥ 2∅12	5∅8/m\	
≤ 4.00	0.12	0.30	≥ 2∅16	5∅8/m\	
≤ 5.00	0.15	0.37	≥ 3∅16	5∅10/m\	بلوكين 15 cm + بلاطة 7 cm
≤ 6.00	0.20	0.47	≥ 4∅16	5∅10/m\	بلوكين 20 cm + بلاطة مصمتة 7 cm

* علامة ≤ (أكبر من أو تساوي) لتغطية حالات الاختلاف في الأحمال الحية.

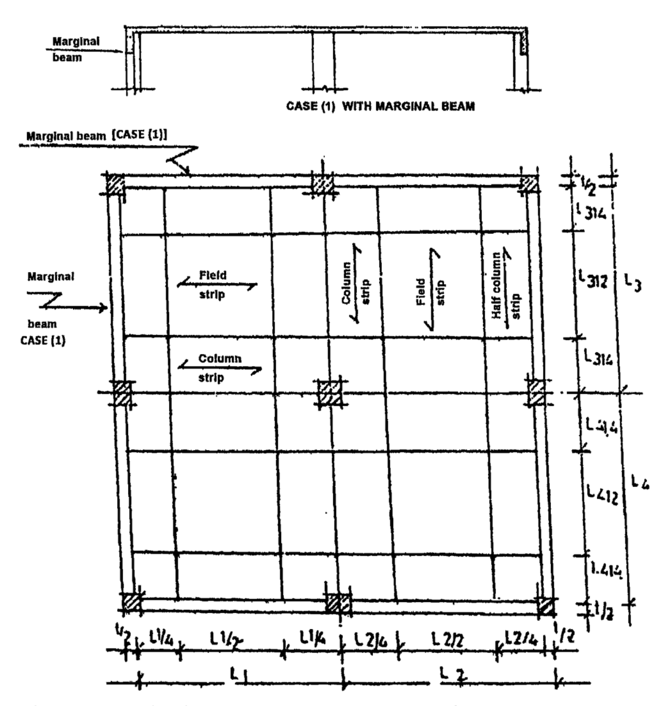
وقياسًا على الجدول ٧-٣ يمكن استنتاج أبعاد العصب المستمر continuous rib وحديد التسليح السفلي والعلوي في هذا العصب من خلال ضرب الأبعاد وحديد التسليح في الجدول ٧-٣ في معامل $= \frac{8}{10} = 0.8$ ، وهو النسبة بين معامل العزوم K في حالة عصب بسيط الارتكاز وعصب مستمر.

٧-٣ الإحساس الهندسي في عزوم الانحناء في حالة البلاطات المسطحة

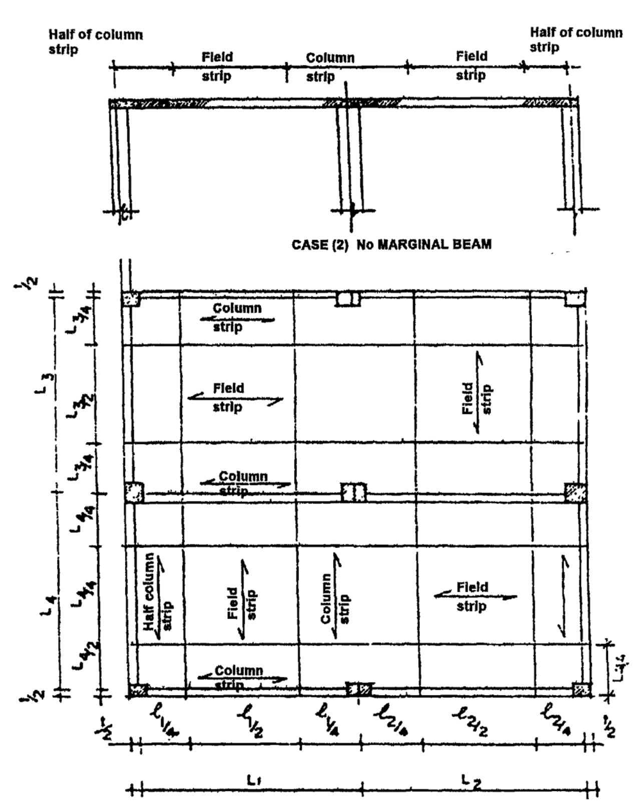
في هذه الحالة البلاطات المسطحة flat slab فإن العامل الحاكم يكون هو القص الثاقب punshing shear وليس هو عزم الانحناء ولكن بالمصادفة في حالة المباني السكنية والإدارية فإن هناك علاقة بين البحور (المسافات) بين الأعمدة والمسافات البينية spacing بين الأعمدة تحدد إلى حد كبير العلاقة بين بحور الباكيات بين الأعمدة وبين سمك البلاطة المسطحة طالما أن الحمل الحي على السقف لا يتعدى $300\ kg/m^2$.

وهذه العلاقة تكسب المهندس الإنشائي نوعًا ما إحساس هندسي إنشائي قوي يسمح له بعمل تصميمات مبدئية إنشائية وتقدير عالي الصحة مبدئي لسمك البلاطة المسطحة وكذلك حديد التسليح فيها.

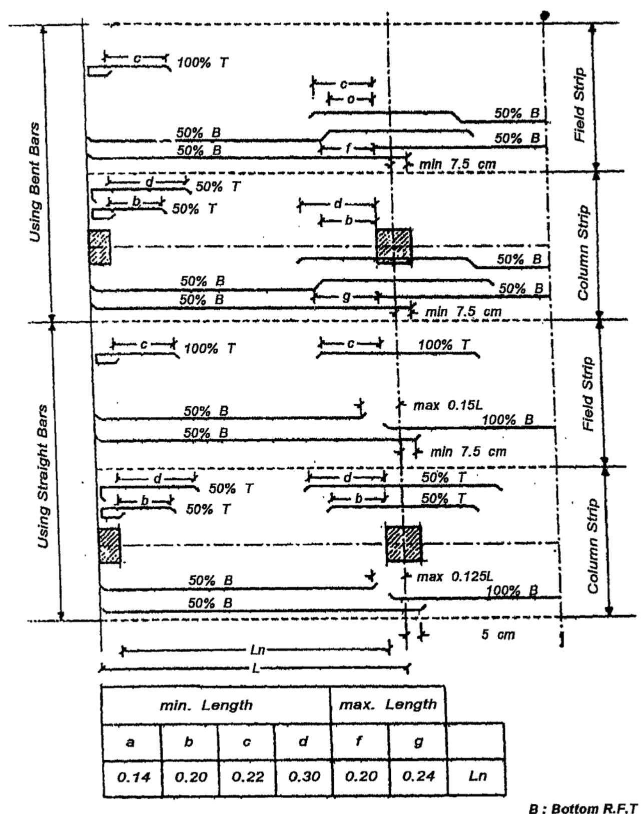
كما ينبغي على المهندس الإنشائي إدراك أن السقف الإنشائي المسطح ينقسم إلى شرائح أعمدة وشرائح وسط وأن حديد التسليح الأكبر قيمة والأساس سواء حديد علوي سالب أو حديد سفلي موجب هذا التسليح ذو القيمة الأكبر يتركز في شرائح الأعمدة أي الشرائح التي تربط ما بين الأعمدة وبعضها البعض سواء طوليًا أو عرضيًا (انظر الأشكال من ٧-٥ إلى ٧-٩).



الشكل ٧-٥: توزيع شرائح الأعمدة وشرائح الوسط في البلاطات المسطحة حالة وجود كمرة طرفية



الشكل ٧-٦: توزيع شرائح الأعمدة وشرائح الوسط في البلاطات المسطحة حالة عدم وجود كمرة طرفية



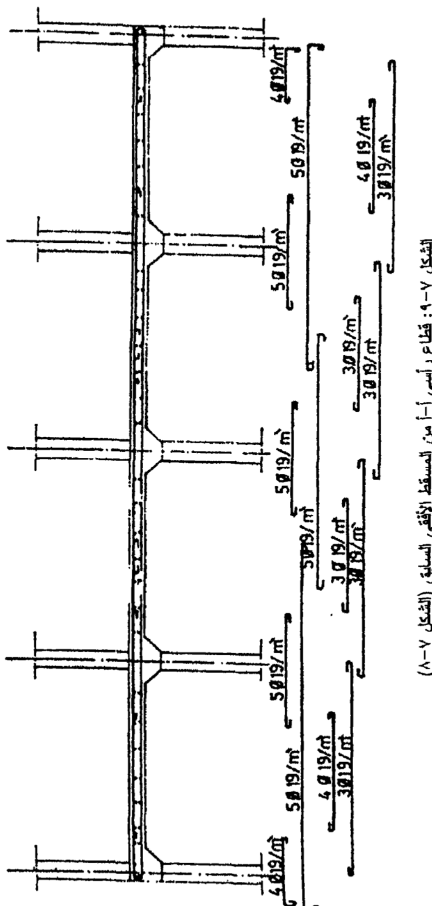
min. Length				max. Length		
a	b	c	d	f	g	
0.14	0.20	0.22	0.30	0.20	0.24	Ln

B : Bottom R.F.T
T : Top R.F.T

الشكل ٧-٧: نموذج تسليح بلاطة مسطحة



الشكل ٧-٨: مسقط أفقي لبيان نموذج تسليح بلاطات مسطحة بدون كمرة طرفية



الشكل ٧-٩: قطاع رأسي أ-أ من المسقط الأفقي السابق (الشكل ٧-٨)

ويمكن أن نتخيل أن شرائح العمود في البلاطة تعمل كأنها كمرات مدفونة تربط ما بين الأعمدة وتقوم بتحمل أحمال بقية البلاطات (شرائح الوسط التي تعمل كأنها بلاطات بينية ما بين الكمرات المدفونة التي هي كأنها شرائح الأعمدة).

وبالتالي يجب على المهندس الإنشائي أن يتوقع أن الحديد الرئيسي العلوي بالذات يتركز في شرائح الأعمدة.

الجدول ٧-٤: جدول يوضح علاقة تقريبية بين سمك البلاطة المسطحة (في حالة أحمال حية لا تزيد عن $300\ kg/m^2$) وبين أبعاد البلاطة المسطحة (المسافات بين الأعمدة طولاً وعرضًا)

أبعاد البلاطة المسطحة	السمك الافتراضي للبلاطة	ملاحظات
$\geq 4\times4$	$t_s \geq 16$ cm	تعتمد أساسًا على قيمة الحمل الحي الأكيدة
$\geq 5\times5$	$t_s \geq 18$ cm	
$\geq 6\times6$	$t_s \geq 20$ cm	
$\geq 7\times7$	$t_s \geq 24$ cm	
$\geq 8\times8$	$t_s \geq 26$ cm	



الإحساس الهندسي

في القطاعات الخرسانية

للكمرات الخرسانية

٨-١ مقدمة

يتركز الإحساس الهندسي بالقطاعات الخرسانية للكمرات الخرسانية بإدراك العلاقة بين أبعاد القطاع وبحر الكمرة الخرسانية وحالتها إذا كانت كمرة بسيطة الارتكاز أو كمرة مستمرة، وهذه العلاقات كالتالي.

٨-٢ العلاقة بين بحر الكمرة وعمق وعرض الكمرة بسيطة الارتكاز

وضعنا هذه الحالة في الجدول ٨-١ على شكل علاقة بين بحر الكمرة وعرضها وعمقها.

٨-٣ الإحساس بحديد تسليح الكمرات بسيطة الارتكاز

نضع هذا الإحساس على شكل جدول يبين العلاقة بين بحر الكمرة بسيطة الارتكاز والتسليح السفلي لهذه الكمرة. ويمكن استنتاج القيم المكافئة للقيم في الجدول ٨-٢ والخاصة بالكمرات المستمرة نضرب حديد التسليح بمعامل تخفيض يساوي 0.8 مع الحفاظ على قيمة عرض وعمق القطاع.

الجدول ٨-١: العلاقة بين بحر الكمرة وعرضها وعمقها

بحر الكمرة	أبعاد الكمرة		ملاحظات
	عرض الكمرة	عمق الكمرة	
≤ 4.0	12	40	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8
≤ 4.5	25	40	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8
≤ 5.0	25	50	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8
≤ 6.0	25	60	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8
≤ 7.0	25	70	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8
≤ 8.0	25	80	في حالة الكمرة مستمرة يتم ضرب العمق بمعامل تخفيض يساوي 0.8

الجدول ٨-٢: العلاقة بين بحر الكمرة بسيطة الارتكاز والتسليح السفلي لها

بحر الكمرة	الحد الأدنى لحديد التسليح المتوقع	أقل قطاع ممكن
≤ 4.0	2∅12	12×40
≤ 4.5	2∅16	12×50
≤ 5.0	4∅16	25×50
≤ 6.0	6∅16	25×60
≤ 7.0	7∅16	25×70
≤ 8.0	8∅16	25×80



الإحساس الهندسي

بقوى القص العرضية

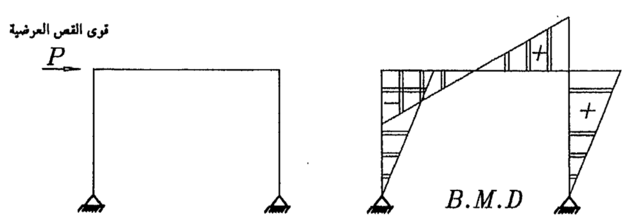
على الإطارات الخرسانية

٩-١ مقدمة

هذا الإساس مهم جدًا في إدراك تأثير الزلازل والرياح على الإطارات الخرسانية وهذا التأثير على الإطارات البابية هو كالتالي.

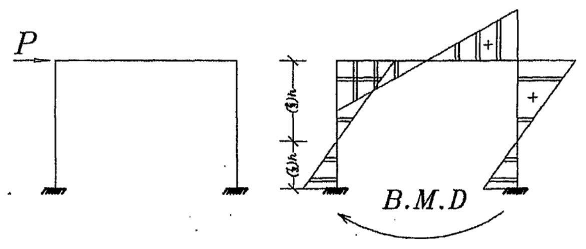
٩-٢ أشكال توضيحية لبيان الأساس بالقوى العرضية

وفي هذه الحالة نجد أن عزوم الانحناء في القدم القريبة من القوة P العرضية تكون إلى داخل الإطار أما في القدم الرأسية البعيدة فتكون عزوم الانحناء (جهة الشد فيها) إلى خارج الإطار (انظر الشكل ٩-١).



الشكل ٩-١: العلاقة بين عزوم الانحناء واتجاه القوة العرضية المؤثرة في الإطار مفصلي القدمين

والإطار البابي المثبت الطرفين يكون شكل عزوم الانحناء كما في الشكل ٩-٢.نجد أن عزم الانحناء على القدم الرأسية القريبة من قوة القص ينقسم إلى جزئين، جزء داخل الإطار وجزء أصغر خارج الإطار بالقرب من الركيزة السفلى المثبتة كليًا.



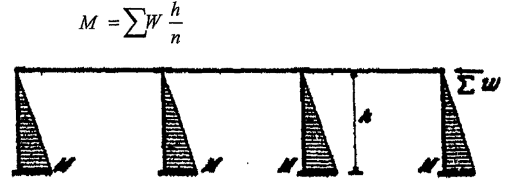
الشكل ٩-٢: العلاقة بين عزوم الانحناء واتجاه القوة العرضية المؤثرة في الإطار مثبت القدمين

وفيما يلي ننقل بعض المعادلات والأشكال التوضيحية لعزوم الانحناء الناتجة من القوى العرضية على الإطارات الخرسانية من المرجع رقم R4.

عزوم الانحناء في الإطارات المستمرة الناتجة عن أحمال الرياح

١. الحمل المركز $\sum W$ عند القمة لعدد n من الأعمدة فإن:

$$M = \sum W \frac{h}{n}$$



الشكل ٩-٣: شكل عزوم الانحناء (عدد n من الأعمدة)

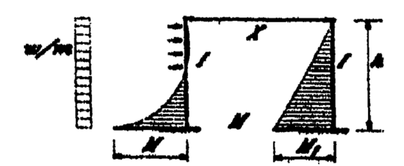
٢. الحمل المنتظم W t/m:

♦ حالة العمودين:

$$X = \frac{3}{16} w\, h$$

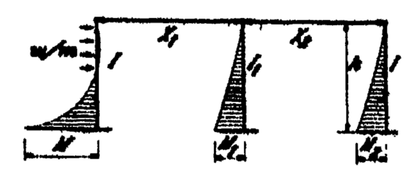
$$M = \frac{5}{16} W\ h^2$$

$$M_1 = \frac{3}{16} W\ h^2$$



الشكل ٩-٤: حالة عمودين (شكل عزوم الانحناء)

- حالة الثلاث أعمدة:



الشكل ٩-٥: حالة ثلاث أعمدة (شكل عزوم الانحناء)

$$X_1 = \frac{3W\ h(1+K)}{8(2+K)}$$

$$X_2 = \frac{3W\ h}{8(2+K)}$$

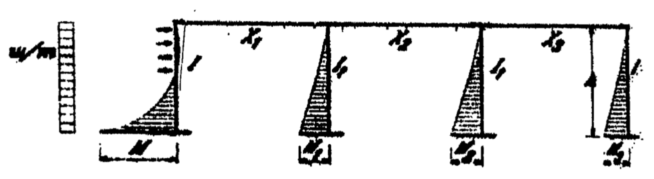
$$K = \frac{I_1}{I}$$

$$M = \frac{W\ h^2(5+K)}{8(2+K)}$$

$$M_1 = \frac{3W\ h^2 K}{8(2+K)}$$

$$M_2 = \frac{3W\ h^2}{8(2+K)}$$

♦ حالة الأربعة أعمدة:



الشكل ٩-٦: عدد أربع أعمدة (شكل عزوم الانحناء)

$$X_1 = \frac{3W\ h(1+2K)}{16(1+K)}$$

$$X_2 = \frac{3W\ h}{16}$$

$$X_3 = \frac{3W\ h}{16(1+K)}$$

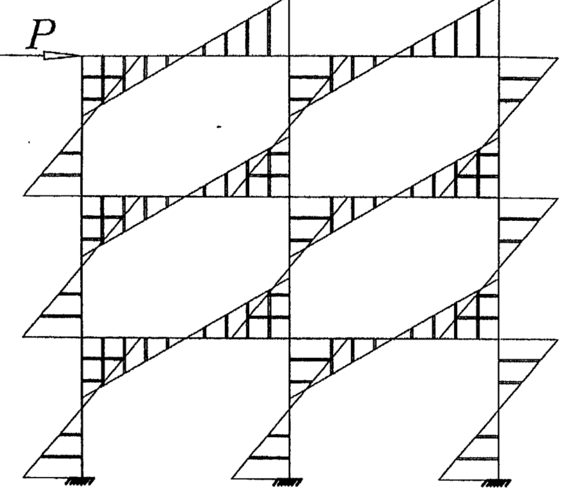
$$K = \frac{I_1}{I}$$

$$M = \frac{W\ h^2(5+2K)}{16(1+K)}$$

$$M_1 = \frac{3W\ h^2 K}{16(1+K)} = M_2$$

$$M_3 = \frac{3W\ h^2}{16(1+K)}$$

ولو افترضنا أن الإطار متعدد الطوابق متعدد الباكيات نجد الشكل ٩-٧، وهو عبارة عن تركيبة متكاملة من الباكية المنفردة السابق ذكرها في الصفحات السابقة لإطار خرساني بابي إحادي الباكية مثبت من الطرفين.



الشكل ٩-٧: شكل عزوم الانحناء في إطار متعدد الطوابق ذو باكيتين

المراجع

المراجع العربية

١. ٥٠٠ مثال محلول في نظرية المنشآت، ترجمة م. خليل إبراهيم واكد.

٢. التصميم الإنشائي للبلاطات الخرسانية المسلحة، م.خليل إبراهيم واكد.

٣. الدليل الإنشائي لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة، خليل إبراهيم واكد.

٤. الكود المصري لأعمال تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة - كود رقم ٢٠٣ - عام ٢٠٠٧ - التحديث الثالث.

المراجع الإنجليزية

1. Design of R.C. Beams by Eng. Khalil Ibrahim Waked.

2. Design of R.C. Slabs by Conslt. Eng. Khalil Ibrahim Waked.

3. Fundamental of R.C. Structures, by Dr. M. Hilal.

4. Handbook of Concrete Engineering, by Mark Fintel.

5. Reinforced Concrete Design Handbook, by Dr. Shaker El-Behairy, 1998/2010.

6. Reinforced concrete Designer Handbook, by Charles Reynolds and J. Steedman.

المحتويات

١ مقدمة في أهمية الإحساس الهندسي.. ٥

١-١ مقدمة.. ٥

١-٢ القواعد الأساسية المتحكمة في الإحساس الهندسي في التصميم الإنشائي للخرسانة المسلحة.......... ٦

٢ الإحساس الهندسي في التحليل الإنشائي.. ١٣

٢-١ مقدمة.. ١٣

٢-٢ أسئلة وأجوبة هامة.. ١٣

٣ الإحساس الهندسي في الركائز.. ٢٣

٣-١ تعريف الركائز.. ٢٣

٣-٢ أنواع الركائز للعناصر الإنشائية.. ٢٤

٤ الإحساس الهندسي في عزوم الانحناء.. ٣١

٤-١ مقدمة.. ٣١

٤-٢ الإحساس الهندسي لعزوم الانحناء في الكمرات المستمرة تحت تأثير الأحمال الرأسية.......... ٣١

٤-٣ الإحساس الهندسي بتغير القطاعات في الكمرة المستمرة ذات حمل منتظم متساوي.......... ٣٦

٤-٤ قاعدة هامة: متى يمكن إهمال استمرارية الكمرات فوق الركائز.......... ٣٩

٤-٥ الإحساس الهندسي في عزوم انحناء كمرة مستمرة ذات حمل منتظم التوزيع متساوي القيمة (ذات بحور متساوية) وتغير القطاع لبحر واحد طرفي عن البحرين الأخريين (الأوسط والطرف الثاني) ٤٠

٤-٦ حالة كمرة مستمرة من بحرين متساويين ذو قطاعين مختلفين في عرضين للكمرات مع تساوي أعماق الكمرتين.. ٤١

٤-٧ الإحساس الهندسي بكمرة مستمرة من بحرين ولهما امتداد كابولي محملة بحمل منتظم التوزيع متساوي على جميع البحور.. ٤٢

٤-٨ الإحساس الإنشائي في كمرة مستمرة ذات ثلاثة بحور متساوية الطول، البحر الأوسط قطاعه ضعيف، والقطاعين الطرفيين قطاعاتها قوية.. ٤٤

٤-٩ الإحساس الهندسي في كمرة مستمرة ذات بحرين أحدهما كبيرًا والآخر صغيرًا.......... ٤٥

٤-١٠ الإحساس الهندسي لعزوم انحناء كمرة محملة بحمل مركز في منتصف البحر.......... ٤٩

ي بقوى القص في الكمرات المستمرة...٥٥

٥-١ مقدمة...٥٥
٥-٢ الإحساس الهندسي بسلوك الكمرة المستمرة تحت تأثير قوى القص...........................٥٦
٥-٣ الإحساس الهندسي بسلوك الكمرات في القص تحت تأثير الأحمال المركزية..................٥٩

٦ الإحساس الهندسي بعزوم الانحناء في الإطارات البابية.......................................٦٣

٦-١ مقدمة...٦٣
٦-٢ تفاصيل الإحساس الهندسي...٦٤

٧ الإحساس الهندسي بعزوم الانحناء وقوى القص في البلاطات الخرسانية...........................٧١

٧-١ حالة البلاطات المصمتة المرتكزة على كمرات ساقطة...٧١
٧-٢ حالة البلاطات ذات البلوكات المفرغة..٧٤
٧-٣ الإحساس الهندسي في عزوم الانحناء في حالة البلاطات المسطحة.................................٧٧

٨ الإحساس الهندسي في القطاعات الخرسانية للكمرات الخرسانية.................................٨٥

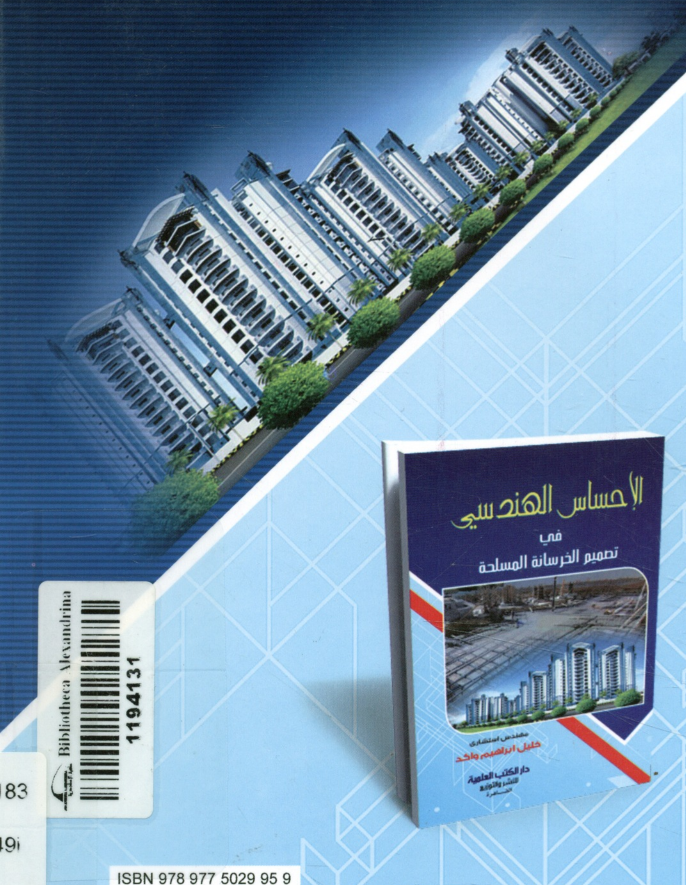
٨-١ مقدمة...٨٥
٨-٢ العلاقة بين بحر الكمرة وعمق وعرض الكمرة بسيطة الارتكاز..٨٥
٨-٣ الإحساس بحديد تسليح الكمرات بسيطة الارتكاز...٨٥

٩ الإحساس الهندسي بقوى القص العرضية على الإطارات الخرسانية.............................٨٧

٩-١ مقدمة...٨٧
٩-٢ أشكال توضيحية لبيان الأساس بالقوى العرضية..٨٧

المراجع ٩٣

المحتويات...٩٥



ISBN 978 977 5029 95 9
9 789775 029959

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
٢٧٩٥٤٢٢٩
www.sbhegypt.org
e-mail:sbh@link.net info@sbhegypt.org